

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

ESTUDIO DE FLUJOS DE CARGA POR  
EL METODO DE ELIMINACION

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL

TITULO DE INGENIERO ELECTRICO EN

LA ESPECIALIZACION P O T E N C I A

FAUSTO BOLIVAR CARRION TACCO

QUITO, MARZO DE 1983

CERTIFICO que la presente tesis fue  
elaborada por el Sr. Fausto Bolívar  
Carrión Tacco, bajo mi dirección.

  
ING. MILTON TOAPANTA  
Director de Tesis

#### AGRADECIMIENTO

Al Señor Ingeniero Milton Toapanta,  
Director de Tesis, y a todas las  
personas que colaboraron en la rea-  
lización de este trabajo.

# INDICE

Pág. N°

## Introducción

1

## CAPITULO I

### Descripción histórica de la evolución metodológica del análisis de flujos de carga en un Sistema Eléctrico de Potencia.

3

## CAPITULO II

### Consideraciones y aspectos teóricos para el estudio de flujos de carga mediante el método de eliminación.

2.1	Planteamiento de las ecuaciones del flujo de carga.	5
2.2	Formación de la matriz de coeficientes.	10
2.2.1.	Matriz de coeficientes en coordenadas polares.	11
2.2.2.	Matriz de coeficientes en coordenadas rectangulares.	16
2.3.	Resolución por el método de eliminación de Gauss.	21
2.3.1.	Resolución por otros métodos.	25
2.3.1.1.	Resolución por el método de Gauss-Jordán	26
2.3.1.2.	Resolución por el método de factorización L.U.	28
2.4	Esquemas de ordenamiento.	30

### CAPITULO III

Pág. N°

#### Programa digital.

3.1	Descripción del programa.	34
3.1.1.	Programa en coordenadas rectangulares.	35
3.1.2.	Programa en coordenadas polares.	40

### CAPITULO IV

#### Aplicaciones

4.1	Aplicación de los programas a sistemas.	47
4.1.1.	Aplicación de los programas al Sistema Stagg.	48
4.1.2.	Aplicación de los programas al Sistema Ambato.	62
4.1.3	Aplicación de los programas al Sistema Guayaquil.	79
4.2.	Comparación de resultados en los dos sistemas de coordenadas.	87
4.3.	Comparación de resultados con métodos iterativos.	93

### CAPITULO V

<u>Conclusiones y recomendaciones</u>	97
---------------------------------------	----

<u>Anexo:</u> Manual de uso de los programas.	101
---	-----

Referencias	117
-------------	-----

## INTRODUCCION.-

La importancia del estudio de flujos de carga en la planificación, operación y control de un Sistema Eléctrico de Potencia, ha impulsado a la búsqueda y desarrollo de un proceso numérico de cálculo, que permita encontrar una solución al problema utilizando un computador digital.

Muchos métodos han sido propuestos para lograr este objetivo y uno de ellos es el que aquí se presenta, y al que se lo conoce con el nombre de "método de eliminación", que es un método directo de solución de las ecuaciones que se plantean para resolver el problema de flujos de carga. El método se implementará, mediante el uso de las coordenadas rectangulares y polares y se resolverá con la ayuda del computador digital.

En esta tesis se utiliza tres métodos de solución de las ecuaciones, a fin de proporcionar al programa una fuerte herramienta para llegar a la solución del problema. Los métodos de solución de las ecuaciones son: eliminación de Gauss, Gauss-Jordán y el de factorización L.U.

El objetivo de este trabajo es el de comparar, las soluciones obtenidas tanto en coordenadas polares como en rectangulares en exactitud y tiempo de computación. También se comparan las soluciones obtenidas con las dadas por otros programas de

sarrollados en la E.P.N. como tesis de grado en lo que se refiere a exactitud y número de interacciones que requieren para hallar la solución.

Los programas planteados permiten el análisis de un sistema sin que sea necesario cambiar los datos de entrada, sino que cualquier cambio en el sistema se hace en base a indicadores, con los cuales se puede eliminar del sistema original barras o elementos. Después de cada corrida el sistema original es recuperado y se puede realizar las variaciones que se desee y el programa ejecuta un nuevo cálculo.

Se ha tratado de establecer el comportamiento de los métodos de solución de ecuaciones ante un preordenamiento de las barras del sistema, y en especial en el método de eliminación de Gauss el efecto que origina éste cuando se selecciona el pivot.

## C A P I T U L O I

### DESCRIPCION HISTORICA DE LA EVOLUCION METODOLOGICA DEL ANALISIS DE FLUJOS DE CARGA EN UN SISTEMA DE POTENCIA.

Antes del advenimiento de los computadores digitales y por algún tiempo después de que estos aparecieran las soluciones al flujo de carga fueron obtenidos usando analizadores de red. Los primeros métodos realmente prácticos de soluciones en computadores digitales aparecieron en la literatura especializada en 1956 y posteriormente los métodos propuestos por Ward y Hale (1) y el de Glimn y Stagg (2). Estos métodos iterativos de la matriz Y se acoplaron bastante bien a los computadores de ese entonces, ya que requerían un mínimo de almacenaje. Estos métodos fueron satisfactorios en muchos problemas, pero convergían muy lentamente y a menudo divergían.

Para vencer el problema de la convergencia se realizaron esfuerzos que llevaron al desarrollo de los métodos de la matriz Z inicialmente propuestos en los escritos de Gupta y Humphrey Davies (3) y en los de Brown, Carter, Happ y Person (4). Estos métodos dan mayor confiabilidad en la convergencia, pero sacrifican algunas ventajas de los métodos iterativos de la matriz Y, ya que requieren un mayor almacenaje y pierden velocidad cuando se aplican a largos sistemas.



En esa época, se demostró que el método de Newton Raphson tenía muy poderosas propiedades de convergencia por parte de J. E. Van Ness (5) y por Griffin (6); pero en ese entonces este método era inaplicable utilizando computadores digitales.

Mayores descubrimientos en el cálculo de redes de potencia vinieron en la mitad de la década de los años sesenta, con el desarrollo de Tinney y otros autores en el campo de la muy eficiente eliminación ordenada utilizando programación porosa (7); y uno de sus éxitos más tempranos fue el de disminuir notablemente los requerimientos de memoria para el almacenaje en el método de Newton y el incremento de velocidad en la computación. A partir de esto el método de Newton ha venido a ser ampliamente reconocido y ha sido utilizado por muchos en la industria.

El incremento del tamaño de los sistemas ha estimulado a la búsqueda y desarrollo de procesos numéricos de cálculo y es así como han aparecido nuevos métodos y se ha profundizado estudios sobre métodos existentes a fin de obtener resultados más satisfactorios.

Entre estos nuevos métodos se puede mencionar los métodos desacoplados y los métodos conocidos como misceláneos dentro de los cuales están los métodos de minimización y los métodos híbridos.

## C A P I T U L O    I I

### CONSIDERACIONES Y ASPECTOS TEORICOS PARA EL ESTUDIO DE FLUJOS DE CARGA MEDIANTE EL METODO DE ELIMINACION.

#### 2.1 PLANTEAMIENTO DE LAS ECUACIONES DEL FLUJO DE CARGA.

Una red eléctrica al igual que un sistema eléctrico de potencia puede ser representado por un sistema de ecuaciones de barras de la manera siguiente:

$$\bar{I}_k = \sum_{m=1}^N Y_{km} \cdot \bar{E}_m \quad (2.1)$$

donde  $\bar{E}_m$  representa los voltajes en las barras e  $\bar{I}_k$  el flujo de corriente hacia ellas. El neutro del sistema o tierra es tomado como referencia y todos los voltajes se expresan con respecto a él. Los voltajes, corrientes y admitancias son cantidades complejas y se las puede representar así:

$$\begin{aligned} \bar{I}_k &= I_k \cdot e^{j a.k} = a_k + j b_k \\ \bar{E}_m &= E_m \cdot e^{j \delta_m} = e_m + j f_m \\ \bar{Y}_{km} &= Y_{km} \cdot e^{j \theta_{km}} = G_{km} + j B_{km} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Si a la ecuación de  $\bar{I}_k$  se la conjuga y se multiplica por  $\bar{E}_k$ , las siguientes ecuaciones de potencia son obtenidas:

$$P_k + j Q_k = \sum_{m=1}^N Y_{km}^* \cdot E_m^* \cdot E_k \quad (2.3)$$

o

$$P_k + j Q_k = \sum_{m=1}^N Y_{km} \cdot E_m \cdot E_k [\cos(\delta_k - \delta_m - \theta_{km}) + j \text{SEN}(\delta_k - \delta_m - \theta_{km})] \quad (2.4)$$

Si esta ecuación se expresa en forma rectangular se tendrá:

$$P_k + j Q_k = \sum_{m=1}^N (G_{km} - j B_{km}) (e_m - j f_m) (e_k + j f_k) \quad (2.5)$$

Separando las partes real e imaginaria de las ecuaciones (2.4) y (2.5) se obtienen las siguientes expresiones para potencia activa y reactiva:

$$P_k = \sum_{m=1}^N Y_{km} \cdot E_m \cdot E_k \cdot \cos(\delta_k - \delta_m - \theta_{km}) \quad (2.6)$$

o

$$P_k = \sum_{m=1}^N (e_k \cdot e_m + f_k \cdot f_m) G_{km} + (e_m \cdot f_k - e_k \cdot f_m) B_{km} \quad (2.7)$$

y

$$Q_k = \sum_{m=1}^N Y_{km} \cdot E_m \cdot E_k \cdot \text{SEN}(\delta_k - \delta_m - \theta_{km}) \quad (2.8)$$

o

$$Q_k = \sum_{m=1}^N (e_m \cdot f_k - e_k \cdot f_m) G_{km} - (e_k \cdot e_m + f_k \cdot f_m) B_{km} \quad (2.9)$$

donde  $k$  es el número de la barra.

En los estudios de flujos de carga, 3 tipos de barras son considerados. En cada barra hay 4 variables que son:  $P_k$ ,  $Q_k$ ,  $E_k$ , y  $\delta_k$ . Estas barras son: la barra slack, en esta se especifica  $E_k$  y  $\delta_k$  pero no  $P_k$  y  $Q_k$ . En las barras de voltaje controlado se especifica  $P_k$  y  $E_k$  pero no  $Q_k$  y  $\delta_k$ . Finalmente en las barras de carga se especifica  $P_k$  y  $Q_k$  y se desconoce  $E_k$  y  $\delta_k$ .

En el estudio de flujos de carga, es necesario resolver un conjunto de ecuaciones simultáneas no lineales representadas por la ecuación (2.4) para obtener las dos variables desconocidas de cada barra. Cuando todos los voltajes de barra son conocidos tanto en magnitud como en ángulo, entonces el problema está resuelto y pueden ser calculadas directamente las corrientes, flujos de potencia y pérdidas en los elementos. Desafortunadamente la ecuación (2.4) no pueden ser resueltas directamente y se ha realizado por métodos generalmente iterativos.

Si se entabla una relación entre los pequeños cambios en la magnitud y ángulo del voltaje con pequeñas variaciones en la potencia activa y reactiva se puede formar un grupo de ecuaciones lineales. Para una red de 5 barras estas ecuaciones podrían ser escritas en forma matricial de la siguiente forma:

$\Delta P_1$	$H_{11} H_{12} H_{13} H_{14}$	$N_{12} N_{14}$	$\Delta \delta_1$	(2.10)
$\Delta P_2$	$H_{21} H_{22} H_{23} H_{24}$	$N_{22} N_{24}$	$\Delta \delta_2$	
$\Delta P_3$	$H_{31} H_{32} H_{33} H_{34}$	$N_{32} N_{34}$	$\Delta \delta_3$	
$\Delta P_4$	$H_{41} H_{42} H_{43} H_{44}$	$N_{42} N_{44}$	$\Delta \delta_4$	
$\Delta Q_2$	$J_{21} J_{22} J_{23} J_{24}$	$L_{22} L_{24}$	$\Delta E_2/E_2$	
$\Delta Q_4$	$J_{41} J_{42} J_{43} J_{44}$	$L_{42} L_{44}$	$\Delta E_4/E_4$	

Siendo  $\Delta P_k$  la diferencia entre la potencia especificada y la calculada.

$\Delta Q_k$  la diferencia entre la potencia reactiva especificada y la calculada.

$H_{km}$  es la derivada de  $P_k$  con respecto a  $\delta_m$ .

$N_{km}$  es la derivada de  $P_k$  con respecto a  $E_m$  multiplicada por  $E_m$ .

$J_{km}$  es la derivada de  $Q_k$  con respecto a  $\delta_m$ .

$L_{km}$  es la derivada de  $Q_k$  con respecto a  $E_m$  multiplicada por  $E_m$ .

En la ecuación (2.10) se ha asumido que la barra 5 es la barra slack ya que no habrá variación en  $E_k$  y  $\delta_k$ . Las barras 1 y 3 representan barras de voltaje controlado ya que se espera variación en  $\delta_k$  puesto que  $E_k$  es mantenido constante. Las barras 2 y 4 son barras de carga ya que se esperan variacio -

nes en magnitud y ángulo de voltaje puesto que la potencia activa y reactiva están ya dadas.

La ecuación (2.10) está presentada en la forma polar, y ésta también se puede representar en forma rectangular del voltaje, esto es en función de "e<sub>k</sub>" y de "f<sub>k</sub>".

La ecuación (2.10) toma la siguiente forma para el sistema de 5 barras descrito en el párrafo anterior:

$\Delta P_1$	$S_{11} \ S_{12} \ S_{13} \ S_{14}$	$T_{11} \ T_{12} \ T_{13} \ T_{14}$	$\Delta e_1$
$\Delta P_2$	$S_{21} \ S_{22} \ S_{23} \ S_{24}$	$T_{21} \ T_{22} \ T_{23} \ T_{24}$	$\Delta e_2$
$\Delta P_3$	$S_{31} \ S_{32} \ S_{33} \ S_{34}$	$T_{31} \ T_{32} \ T_{33} \ T_{34}$	$\Delta e_3$
$\Delta P_4$	$S_{41} \ S_{42} \ S_{43} \ S_{44}$	$T_{41} \ T_{42} \ T_{43} \ T_{44}$	$\Delta e_4$
$\Delta E_1^2$	$EE_1 \ 0 \ 0 \ 0$	$FF_1 \ 0 \ 0 \ 0$	$\Delta f_1$
$\Delta Q_2$	$U_{21} \ U_{22} \ U_{23} \ U_{24}$	$W_{21} \ W_{22} \ W_{23} \ W_{24}$	$\Delta f_2$
$\Delta E_3^2$	$0 \ 0 \ EE_3 \ 0$	$0 \ 0 \ FF_3 \ 0$	$\Delta f_3$
$\Delta Q_4$	$U_{41} \ U_{42} \ U_{43} \ U_{44}$	$W_{41} \ W_{42} \ W_{43} \ W_{44}$	$\Delta f_4$

(2.11)

Siendo  $\Delta P_k$  la diferencia entre la potencia activa especificada y la calculada.

$\Delta Q_k$  la diferencia entre la potencia reactiva especificada y la calculada.

$\Delta E_k^2$  la diferencia entre los módulos de voltajes de barra entre el especificado y el calculado, ele-

vados al cuadrado.

$S_{km}$  es la derivada de  $P_k$  con respecto a  $e_m$ .

$T_{km}$  es la derivada de  $P_k$  con respecto a  $f_m$ .

$U_{km}$  es la derivada de  $Q_k$  con respecto a  $e_m$ .

$W_{km}$  es la derivada de  $Q_k$  con respecto a  $f_m$ .

$EE_k$  es la derivada de  $E_k^2$  con respecto a  $e_k$ .

$FF_k$  es la derivada de  $E_k^2$  con respecto a  $f_k$ .

Los coeficientes de las ecuaciones (2.10) y (2.11) se evaluarán usando derivadas parciales lo cual se verá en el próximo numeral.

## 2.2 FORMACION DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES.

Con el propósito de facilitar la comprensión del desarrollo de la evaluación de los coeficientes de las ecuaciones (2.10) y (2.11) se procederá a desarrollar algunas ecuaciones propuestas anteriormente.

La ecuación (2.1) puede ser reescrita como:

$$\bar{I}_k = \sum_{m=1}^N Y_{km} \cdot E_m \cdot e^{j(\theta_{km} + \delta_m)} \quad (2.12)$$

De (2.12) se puede obtener las componentes real e imaginaria de las corrientes:

$$a_k = \sum_{m=1}^N Y_{km} \cdot E_m \cdot \text{COS} (\theta_{km} + \delta_m) \quad (2.13)$$

y

$$b_k = \sum_{m=1}^N Y_{km} \cdot E_m \cdot \text{SEN} (\theta_{km} + \delta_m) \quad (2.14)$$

Desarrollado la ecuación (2.1) en coordenadas rectangulares se tiene:

$$I_k = \sum_{m=1}^N (e_m \cdot G_{km} - f_m \cdot B_{km}) + j (f_m \cdot G_{km} + e_m \cdot B_{km}) \quad (2.15)$$

donde:

$$a_k = \sum_{m=1}^N e_m \cdot G_{km} - f_m \cdot B_{km} \quad (2.16)$$

y

$$b_k = \sum_{m=1}^N f_m \cdot G_{km} + e_m \cdot B_{km} \quad (2.17)$$

### 2.2.1 MATRIZ DE COEFICIENTES EN COORDENADAS POLARES.

Los coeficientes de la ecuación (2.10) pueden ser encontrados tomando las derivadas parciales de las ecuaciones (2.6) y (2.8) respecto a los incrementos de  $\delta$  y de  $E$  de la siguiente manera:



Las ecuaciones (2.6) y (2.8) pueden ser reescritas así:

$$P_k = E_k^2 \cdot Y_{kk} \cdot \text{COS}(\theta_{kk}) + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N Y_{km} \cdot E_m \cdot E_k \cdot \text{COS}(\delta_k - \delta_m - \theta_{km}) \quad (2.18)$$

y

$$Q_k = E_k^2 \cdot Y_{kk} \cdot \text{SEN}(-\theta_{kk}) + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N Y_{km} \cdot E_m \cdot E_k \cdot \text{SEN}(\delta_k - \delta_m - \theta_{km}) \quad (2.19)$$

Los elementos de la submatriz H se calcula derivando (2.18) respecto al incremento del ángulo:

para  $m \neq k$

$$H_{km} = \frac{\partial P_k}{\partial \delta_m} = Y_{km} \cdot E_m \cdot E_k \cdot \text{SEN}(\delta_k - \delta_m - \theta_{km}) \quad (2.20)$$

aplicando identidades trigonométricas en (2.20) se tiene:

$$H_{km} = (E_k \cdot \text{SEN}(\delta_k) Y_{km} \cdot E_m \cdot \text{COS}(\delta_m + \theta_{km}) - (E_k \cdot \text{COS}(\delta_k) Y_{km} \cdot E_m \cdot \text{SEN}(\delta_m + \theta_{km})) \quad (2.21)$$

Los términos de la ecuación anterior son similares a las ecuaciones (2.12) y (2.14) sin el sumatorio por lo que se hará una nueva definición:

$$a_{km} = Y_{km} \cdot E_m \cdot \text{COS}(\theta_{km} + \delta_m)$$

y

$$b_{km} = Y_{km} \cdot E_m \cdot \text{SEN}(\theta_{km} + \delta_m) \quad (2.22)$$

por equivalencia de las ecuaciones (2.13) con (2.16) y de las ecuaciones (2.14) con (2.17) se tiene que:

$$\underline{a_m = e_m \cdot G_{km} - f_m \cdot B_{km}}$$

y

$$\underline{b_m = f_m \cdot G_{km} + e_m \cdot B_{km}} \quad (2.23)$$

entonces la ecuación (2.21) puede expresarse en forma rectangular como:

$$H_{km} = f_k \cdot a_m - e_k \cdot b_m \quad (2.24)$$

para  $m=k$

$$H_{kk} = \frac{JP_k}{IG_k} = - \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N Y_{km} \cdot E_m \cdot E_k \cdot \text{SEN} (\delta_k - \delta_m - \theta_{km}) \quad (2.25)$$

Si a la ecuación anterior se resta y se suma el término  $Y_{kk} \cdot E_k^2 \cdot \text{SEN} (-\theta_{kk})$  se tiene:

$$H_{kk} = - Q_k - E_k^2 \cdot B_{kk} \quad (2.26)$$

Los elementos de la submatriz N se obtienen de la siguiente forma:

para  $m \neq k$

$$N_{km} = \frac{JP_k}{IE_m} \cdot E_m = Y_{km} \cdot E_k \cdot E_m \cdot \text{COS} (\delta_k - \delta_m - \theta_{km}) \quad (2.27)$$

Si se aplica identidades trigonométricas en (2.27) se tiene:

$$N_{km} = E_k \cos(\delta_k) \cdot Y_{km} \cdot E_m \cos(\delta_m + \theta_{km}) + E_k \sin(\delta_k) \cdot Y_{km} \cdot E_m \sin(\delta_m + \theta_{km})$$

aplicando las igualdades de (2.22) se tiene que:

$$N_{km} = e_k \cdot a_m + f_k \cdot b_m \quad (2.28)$$

para  $m=k$

$$N_{kk} = \frac{JP_k}{JE_k} \cdot E_k = 2E_k^2 Y_{kk} \cos(\theta_{kk}) + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N Y_{km} E_m E_k \cos(\delta_k - \delta_m - \theta_{km})$$

Si a la expresión anterior se le agrupa convenientemente se obtiene:

$$N_{kk} = P_k + E_k^2 G_{kk} \quad (2.29)$$

Los elementos de la submatriz J se obtienen derivando la ecuación de  $Q_k$  para el incremento del ángulo:

para  $m \neq k$

$$J_{km} = \frac{JQ_k}{J\delta_m} = -Y_{km} E_m E_k \cos(\delta_k - \delta_m - \theta_{km})$$

La ecuación anterior es igual a la ecuación (2.27) cambiada de signo por lo tanto se tiene que:

$$-J_{km} = N_{km} = e_k \cdot a_m + f_k \cdot b_m \quad (2.30)$$

para  $m=k$

$$J_{kk} = \frac{JQ_k}{J\delta_k} = \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N Y_{km} \cdot E_m \cdot E_k \cos(\delta_k - \delta_m - \theta_{km})$$

Si a la ecuación última se añade y se resta:

$E_k^2 Y_{kk} \cos(\theta_{kk})$  se llega a:

$$J_{kk} = P_k - E_k^2 \cdot G_{kk} \quad (2.31)$$

Los elementos de la submatriz L se calculan de la siguiente forma:

$$L_{km} = \frac{JQ_k}{JE_m} \cdot E_m = Y_{km} E_m E_k \text{SEN}(\delta_k - \delta_m - \theta_{km}) \quad (2.32)$$

La ecuación (2.32) es igual a la ecuación (2.20) por lo tanto se tiene que:

$$L_{km} = H_{km} = f_k \cdot a_m - e_k \cdot b_m \quad (2.33)$$

para  $m=k$

$$L_{kk} = \frac{JQ_k}{JE_k} \cdot E_k = 2E_k^2 Y_{kk} \text{SEN}(-\theta_{kk}) + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N Y_{km} E_m \text{SEN}(\delta_k - \delta_m - \theta_{km})$$

Si a la igualdad última se agrupa convenientemente se tiene que:

$$L_{kk} = Q_k - E_k^2 \cdot B_{kk} \quad (2.34)$$

De esta forma se pueden calcular los coeficientes que relacionan los pequeños cambios de voltaje con las pequeñas variaciones de potencia tanto activa como reactiva y se ve que el problema planteado en coordenadas polares se puede expresar en coordenadas rectangulares, lo cual facilita su programación.

### 2.2.2 MATRIZ DE COEFICIENTES EN COORDENADAS RECTANGULARES.

Los coeficientes de la ecuación (2.11) pueden ser encontrados tomando las derivadas parciales de las ecuaciones (2.7) y (2.9) respecto a los incrementos tanto real como imaginario del voltaje. Una ecuación para la magnitud del voltaje es añadida y esta es:

$$E_k^2 = e_k^2 + f_k^2 \quad (2.35)$$

Las ecuaciones (2.7) y (2.9) pueden ser reescritas así:

$$P_k = (e_k^2 + f_k^2) G_{kk} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N (e_k e_m + f_k f_m) G_{km} + (e_m f_k - e_k f_m) B_{km} \quad (2.36)$$

y

$$Q_k = - (e_k^2 + f_k^2) B_{kk} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N (e_m f_k - e_k f_m) G_{km} - (e_k e_m + f_m f_k) B_{km} \quad (2.37)$$

Cálculo de los elementos de la submatriz S

para  $m \neq k$

$$S_{km} = \frac{JP_k}{Je_m}$$

Derivando la ecuación (2.36) respecto a  $e_m$  se obtiene:

$$S_{km} = e_k G_{km} + f_k B_{km} \quad (2.38)$$

para  $m=k$

$$S_{kk} = \frac{JP_k}{Je_k}$$

Derivando la ecuación (2.36) respecto a  $e_k$  se obtiene:

$$S_{kk} = 2e_k G_{kk} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N e_m G_{km} - f_m B_{km} \quad (2.39)$$

Al segundo miembro de la ecuación anterior si se resta el término  $f_k B_{kk}$  y se suma el término  $e_k G_{kk}$  se tiene  $a_k$  según la ecuación (2.16) por lo tanto la ecuación (2.39) queda:

$$S_{kk} = a_k + e_k G_{kk} + f_k B_{kk} \quad (2.40)$$

Cálculo de los elementos de la submatriz U.

para  $m \neq k$

$$U_{km} = \frac{JQ_k}{Je_m}$$

Derivando la ecuación (2.37) respecto a  $e_m$  se tiene:

$$U_{km} = f_k G_{km} - e_k B_{km} \quad (2.41)$$

para  $m=k$

$$U_{kk} = \frac{JQ_k}{Je_k}$$

Derivando la ecuación (2.37) respecto a  $e_k$  se tiene:

$$U_{kk} = -2e_k B_{kk} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N -f_m G_{km} - e_m B_{km} \quad (2.42)$$

Si se arregla adecuadamente la expresión anterior y se pone en función de (2.17) esta queda como:

$$U_{kk} = -b_k - e_k B_{kk} + f_k G_{kk} \quad (2.43)$$

Cálculo de los elementos de la submatriz T.

$k \neq m$

$$T_{km} = \frac{JP_k}{Jf_m}$$

Utilizando la ecuación (2.36) para  $P_k$  se tiene:

$$T_{km} = f_k G_{km} - e_k B_{km} \quad (2.44)$$

Se observa que la expresión (2.41) es igual a (2.44) por lo tanto:

$$T_{km} = U_{km}$$

para  $m=k$

$$T_{kk} = \frac{JP_k}{Jf_k}$$

Si se utiliza la expresión (2.36) de  $P_k$  se tiene:

$$T_{kk} = 2f_k G_{kk} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N f_m G_{km} + e_m B_{km} \quad (2.45)$$

Si a (2.45) se pone en función de (2.17) se tiene:

$$T_{kk} = b_k + f_k G_{kk} - e_k B_{kk} \quad (2.46)$$

Cálculo de los elementos de la submatriz W.

$$W_{km} = \frac{IQ_k}{Jf_m} \quad k \neq m$$

Utilizando la expresión (2.37) de  $Q_k$  se tiene:

$$W_{km} = -e_k G_{km} - f_k B_{km} \quad (2.47)$$

La ecuación (2.47) es igual a la ecuación (2.38) cambiada de signo, por lo tanto:



$$S_{km} = - W_{km}$$

para  $m=k$

$$W_{kk} = \frac{JQ_k}{Jf_k}$$

Utilizando (2.37) de  $Q_k$  se tiene:

$$W_{kk} = - 2f_k B_{kk} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N e_m G_{km} - f_m B_{km}$$

Si la expresión anterior se pone en función de (2.16) se tiene:

$$W_{kk} = a_k - f_k B_{kk} - e_k G_{kk} \quad (2.48)$$

Cálculo de los elementos  $EE_k$

$$EE_k = \frac{JE_k^2}{Je_k}$$

Utilizando la ecuación (2.35) de  $E_k^2$  se tiene:

$$EE_k = 2e_k \quad (2.49)$$

Cálculo de los elementos  $FF_k$

$$FF_k = \frac{JE_k^2}{Jf_k}$$

Utilizando (2.35) de  $E_k^2$  se tiene:

$$FF_k = 2f_k \quad (2.50)$$

De esta manera están definidos todos los coeficientes de la matriz de enlace entre las variaciones de voltaje con las variaciones de potencia tanto en coordenadas polares como en rectangulares.

### 2.3 RESOLUCION POR EL METODO DE ELIMINACION DE GAUSS.

Para simplificar la notación y generalizar el problema; los  $\Delta P_k$  y los  $\Delta Q_k$  se almacenan en la matriz Z, los  $\Delta E_k$  y  $\Delta \delta_k$  se representan en un vector X y los coeficientes en una matriz A. Entonces la ecuación (2.10) puede representarse de la forma:

$$Z = A \cdot X \quad (2.51)$$

La ecuación (2.11) también se puede representar como (2.51), solo que el vector X almacenará los  $\Delta e_k$  y  $\Delta f_k$ .

La ecuación (2.51) puede ser resuelta en cada paso por el método de eliminación de Gauss y los resultados son utilizados para corregir voltajes de barras.

El proceso seguido para la determinación de los voltajes de barra es el siguiente: con valores asumidos de voltajes de barras se determina la potencia activa y reactiva

de barras. Luego se determina los incrementos de potencia activa y reactiva ( $\Delta P_k$  y  $\Delta Q_k$ ) entre los valores especificados y los calculados. Si no están dentro del margen especificado se procede a calcular y almacenar los coeficientes de la matriz A y la ecuación (2.51) es resuelta por eliminación de Gauss. Los resultados son usados para corregir los voltajes de barras, y el proceso se repite hasta obtener la precisión deseada. Cabe indicar que la matriz A es recalculada en cada paso ya que sus elementos son funciones del voltaje.

El método de eliminación de Gauss consiste en ir eliminando los elementos bajo la diagonal en la columna del pivot, con el objeto de ir reduciendo los arreglos en forma triangular superior. Al hacer esto, la última ecuación tendrá únicamente la incógnita  $X_n$ , y esta puede ser fácilmente determinada. La (n-1) ecuación contiene  $X_n$  y  $X_{n-1}$ ; sustituyendo  $X_n$  de la última ecuación se puede resolver  $X_{n-1}$  y así sucesivamente. El proceso sería el siguiente:

Si se tiene un sistema de ecuaciones de la forma:

$$\text{Ec1} : a_{11} X_1 + a_{12} X_2 + \dots + a_{1n} X_n = Z_1$$

$$\text{Ec2} : a_{21} X_1 + a_{22} X_2 + \dots + a_{2n} X_n = Z_2$$

.

.

.

$$Ec_n : a_{n1} X_1 + a_{n2} X_2 + \dots + a_{nn} X_n = Z_n$$

Suponiendo que  $a_{11} \neq 0$ ; si se elimina  $X_1$  en las ecuaciones  $Ec_2$  hasta  $Ec_n$  se tendrá:

$$Ec_1 : a_{11} X_1 + a_{12} X_2 + \dots + a_{1n} X_n = Z_1$$

$$Ec_2 : a_{22} X_2 + \dots + a_{2n} X_n = Z_2$$

.

.

.

$$Ec_n : a_{n2} X_2 + \dots + a_{nn} X_n = Z_n$$

donde los nuevos coeficientes en las ecuaciones  $Ec_2^1$  hasta  $Ec_n^1$  están dados por:

$$a_{ij}^1 = a_{ij} - \frac{a_{i1} a_{1j}}{a_{11}}, \quad i, j = 2, 3, \dots, n$$

y

$$Z_i^1 = Z_i - \frac{a_{i1}}{a_{11}} \cdot Z_1, \quad i = 2, 3, \dots, n.$$

Si  $a_{ii} = 0$ , se intercambian las ecuaciones a fin de que los coeficientes de la parte izquierda superior sean diferente de cero.

El próximo paso es eliminar  $X_2$  de las ecuaciones  $Ec_3$ .

hasta Ecn lo que resultaría:

$$Ec_1 : a_{11} X_1 + a_{12} X_2 + a_{13} X_3 + \dots + a_{1n} X_n = Z_1$$

$$Ec_2^1 : a_{22}^1 X_2 + a_{23}^1 X_3 + \dots + a_{2n}^1 X_n = Z_2^1$$

$$Ec_3^2 : a_{33}^2 X_3 + \dots + a_{3n}^2 X_n = Z_3^2$$

$$\begin{array}{c} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Ec_n^2 : a_{n3}^2 X_3 + \dots + a_{nn}^2 X_n = Z_n^2 \end{array}$$

donde los nuevos coeficientes en las ecuaciones  $Ec_3^2$  a  $Ec_n^2$  son:

$$a_{ij}^k = a_{ij}^{k-1} - \frac{a_{ik}^{k-1}}{a_{kk}^{k-1}} a_{kj}^{k-1}, \quad k=1,2,\dots,n-1$$

$$i,j = k+1,\dots,n$$

y

$$Z_i^k = Z_i^{k-1} - \frac{a_{ik}^{k-1}}{a_{kk}^{k-1}} Z_k^{k-1}, \quad k=1,2,\dots,n$$

$$i = k+1,\dots,n$$

De esta forma está completo el primer paso de el método de eliminación de Gauss. El próximo paso es obtener  $X_n$  de la última ecuación e ir sustituyendo en la ecuación anterior a esta para obtener  $X_{n-1}$  y así sucesivamente. En general  $X_i$  está dada por:

$$X_i = \frac{1}{a_{ii}} \left( Z_i^{i-1} - \sum_{j=i+1}^n a_{ij}^{i-1} \cdot X_j \right)$$

donde:  $i=n, n-1, n-2, \dots, 1$

Algo muy importante de anotar es que la selección secuencial del pivot bajo la diagonal principal puede o no ser satisfactoria, debido a que un valor cero del pivot causa que la solución se distorciona, y un pivot relativamente pequeño causa errores muy serios de aproximación. - Estos problemas pueden ser solucionados al intercambiar - las filas o columnas del arreglo, o mediante una adecuada selección del pivot. Existen 3 métodos comunes de selección en el cual, en cada etapa de eliminación se busca el elemento de mayor magnitud de:

- a.- aquellos elementos de la diagonal principal cuyas filas no han sido pivoteadas todavía.
- b.- aquellos elementos en la columna pivotal natural cuyas filas no han sido todavía pivoteadas.
- c.- aquellos elementos en todas las filas y columnas las cuales no han sido pivoteadas todavía.

#### 2.3.1. RESOLUCION POR OTROS METODOS.

Las ecuaciones (2.10) y (2.11) pueden ser resueltas también por otros métodos y entre estos métodos se pueden mencionar al de Gauss-Jordan y al de factorización L.U. a los que se los implementará en el programa de computación

002222

a fin de proporcionar a este último mayores herramientas para la resolución de flujo de carga. Estos métodos se los describirá en los numerales siguientes.

#### 2.3.1.1. RESOLUCION POR EL METODO DE GAUSS-JORDAN.

El método de Gauss-Jordán consiste en ir eliminando las incógnitas en forma similar que en el método de eliminación de Gauss, pero en todas las ecuaciones de la siguiente manera:

Si se tiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$2X_1 + 8X_2 + 2X_3 = 14$$

$$X_1 + 6X_2 - X_3 = 13$$

$$2X_1 - X_2 + 2X_3 = 5$$

El primer paso es dividir el coeficiente del pivot en la ecuación 1, y luego eliminar  $X_1$  de las ecuaciones 2 y 3 quedando el sistema de la siguiente forma:

$$X_1 + 4X_2 + 2X_3 = 7$$

$$0 + 2X_2 - 2X_3 = 6$$

$$0 - 9X_2 + 0X_3 = -9$$

Los nuevos coeficientes del sistema están dados por:

$$a'_{kj} = \frac{a_{kj}}{a_{kk}}$$

$$a'_{ij} = a_{ij} - a_{ik} a'_{kj}$$

$$\text{donde: } 1 \leq i \leq 3$$

$$1 \leq j \leq 4$$

$$k=1 \text{ y } k \neq i$$

El siguiente paso es eliminar  $X_2$  de las ecuaciones 1 y 3 y el pivot es el coeficiente  $a_{22}$  y el sistema quedaría:

$$1 \quad X_1 + 0 \quad X_2 + 5 \quad X_3 = -5$$

$$0 \quad X_1 + 1 \quad X_2 - 1 \quad X_3 = 3$$

$$0 \quad X_1 + 0 \quad X_2 - 9 \quad X_3 = 18$$

Los coeficientes son los mismos que de la primera eliminación solo que:

$$1 \leq i \leq 3$$

$$2 \leq j \leq 4$$

$$k=2 \text{ y } k \neq i$$

El sistema final equivalente está determinado usando al coeficiente de  $X_3$  como pivot, dividiendo la ecuación 3 para el pivot y eliminando  $X_3$  de las ecuaciones 1 y 2.



El sistema quedaría:

$$1 X_1 + 0 X_2 + 0 X_3 = 5$$

$$0 X_1 + 1 X_2 + 0 X_3 = 1$$

$$0 X_1 + 0 X_2 + 1 X_3 = -2$$

Los valores de las incógnitas,  $X_1$ ,  $X_2$ , y  $X_3$  son 5, 1, y -2, respectivamente.

Los valores de los coeficientes están dados por:

$$a'_{kj} = \frac{a_{kj}}{a_{kk}}$$

$$a'_{ij} = a_{ij} - a_{ik} a'_{kj}$$

donde:  $1 \leq i \leq n$

$k+1 \leq j \leq n+1$

$k = 1, 2, 3, \dots, n$

$i \neq k$

$n$  es el número de ecuaciones

$a'_{kj}$  y  $a'_{ij}$  son los nuevos coeficientes.

#### 2.3.1.2. RESOLUCION POR EL METODO DE FACTORIZACION L.U.

El proceso de solución por este método es el siguiente:

Si se considera un sistema de ecuaciones lineales independientes de la forma:

$$A X = Z$$

donde A es una matriz no singular. La matriz A puede ser descompuesta en el producto de dos matrices L y U, donde L es una matriz triangular inferior y U una matriz triangular superior cuyos elementos de la diagonal son iguales a 1; esto es:

$$A = L U$$

Invirtiendo ambos lados de la ecuación se tiene:

$$A^{-1} = U^{-1} L^{-1}$$

Como U y L son matrices triangulares, sus inversas son calculadas con facilidad. La solución del sistema es:

$$X = U^{-1} L^{-1} Z$$

Para determinar los elementos de U y L se desarrolla la ecuación  $A = L U$  :

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1_{11} & 0 & \dots & 0 \\ l_{21} & 1_{22} & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ l_{n1} & l_{n2} & \dots & 1_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ 0 & 1 & \dots & u_{2n} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Multiplicando las filas de L por la primera columna de U e igualando el resultado con la primera columna de A se tiene:

$$l_{i1} = a_{i1}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Si se multiplica la primera fila de L por las columnas de U, se tiene la primera fila de U igualando los resultados con la primera fila de A; se tendrá:

$$u_{1j} = a_{1j} / l_{11} \quad j = 2, 3, \dots, n$$

Se ha determinado la primera columna de L y la primera fila de U. Con un procedimiento similar el resto de elementos de L y U pueden ser determinados. En general,  $l_{ij}$  y  $u_{ij}$  pueden ser hallados desde:

$$l_{ij} = a_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} l_{ik} u_{kj}, \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, i \end{matrix}$$

$$y \quad u_{ij} = \frac{1}{l_{ii}} \left( a_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} l_{ik} u_{kj} \right) \quad j = 1, 2, \dots, n$$

#### 2.4 ESQUEMAS DE ORDENAMIENTO. \*

El ordenamiento en el proceso de eliminación significa seleccionar el orden en el cual los elementos de la diagonal principal son tomados como pivots. El criterio para la se-

lección del pivot es la conservación de la porosidad de la matriz de coeficientes A. En este numeral se describirán varios esquemas de ordenamiento que conducen a una "eliminación óptimamente ordenada".

Entre los esquemas de ordenamiento están los de preordenamiento, los cuales pueden ser implementados simplemente por reordenamiento o renumeración de barras del sistema. Así se tiene los siguientes esquemas de preordenamiento:

- el del menor número de elementos conectados a las barras en forma ascendente, es decir que la barra que tenga el menor número de elementos conectados a ella será numerada primero.
- el de la mayor banda diagonal que trata de reordenar las barras a fin de que los elementos fuera de la diagonal principal estén lo más cerca posible a ella.
- el de la menor banda diagonal que trata de ordenar las barras a fin de que los elementos fuera de la diagonal principal estén lo más cerca posible a la menor banda diagonal.

A los esquemas en los cuales la selección del pivot se realiza conforme avanza el proceso de eliminación se los conoce como esquemas de ordenamiento dinámico y dentro de los cuales se tiene:

1.- La próxima variable a ser eliminada es aquella asociada con la fila o columna de la matriz reducida que contiene el menor número de elementos no ceros. Así por ejemplo la figura 2.4.1 representa una matriz cuyos coeficientes son los de un sistema de ecuaciones y en cada columna están los correspondientes a las incógnitas  $X_1, i= 1,2,\dots,6$ . La matriz presentada es una matriz en la cual ha sido eliminada la variable  $X_1$  en las ecuaciones 2 a 6. De acuerdo a este esquema de ordenamiento la próxima variable a eliminarse sería  $X_2$  siguiendo el proceso descrito en 2.3 ya que la segunda fila o columna contiene el menor número de elementos no ceros (Nota: en la Fig.2.4.1 los espacios en blanco significan ceros de la matriz; y los marcados con una X cualquier cantidad diferente de cero; el espacio sombreado significa que se ha eliminado una variable en esas filas).

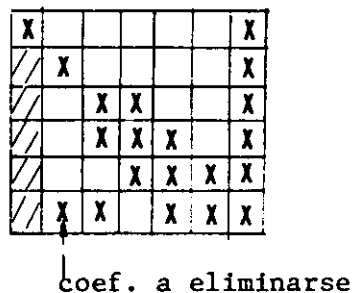
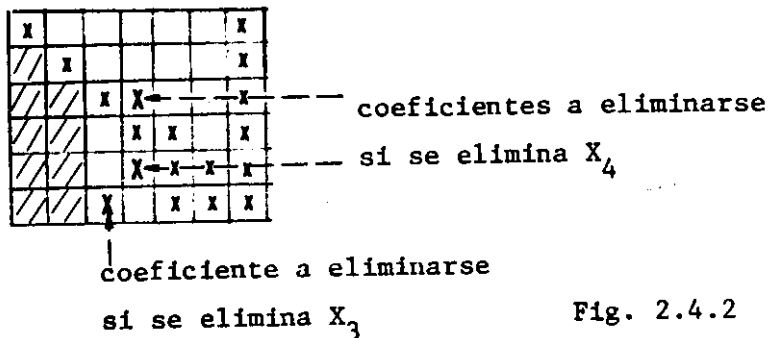


Fig. 2.4.1

2.- La próxima variable a ser eliminada es la que introduce el menor número de nuevos elementos en la matriz reducida en el próximo paso. Por ejemplo en la figura 2.4.2 las incógnitas que pueden ser eliminadas siguien

do el proceso descrito en 2.3. son  $X_3$  o  $X_4$ .



Nota: Los símbolos de la figura representan lo mismo que los de la figura anterior.

3.- La próxima variable a eliminarse será aquella que introduzca el menor número de nuevos elementos dos pasos adelante. En la figura 2.4.3 la variable a eliminarse es  $X_3$  siguiendo el proceso descrito en 2.3.

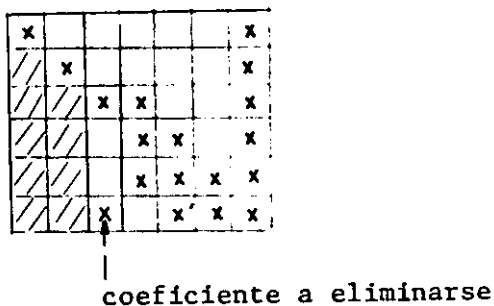


Fig. 2.4.3

Nota: Los símbolos que se presentan en la figura tienen igual significado de los de la Fig. 2.4.1.

## C A P I T U L O   I I I

### PROGRAMA DIGITAL.

#### 3.1 DESCRIPCION DEL PROGRAMA.

La solución al problema de flujo de carga, se plantea a través de dos programas de computación, escritos en lenguaje FORTRAN IV y corridos en el computador IBM 370/125 de la Escuela Politécnica Nacional.

La característica principal de los dos programas es el de permitir analizar cualquier cambio en el Sistema, solo con leer indicadores de salida de barras o elementos, sin que los datos del Sistema sean cambiados o renumerados por el programador. Después que el programa ha realizado el cálculo del flujo de carga correspondiente, el Sistema original es recuperado y de esta forma con leer indicadores de variaciones en el Sistema puede entrar a calcular un nuevo flujo.

Los programas son muy similares, ya que la resolución planteada en coordenadas polares se expresa en forma rectangular, como se ve en el capítulo anterior.

Los programas de computación están implementados de tres métodos de resolución de ecuaciones lineales para encontrar la solución a la ecuación (2.10) o (2.11).

Cabe señalar que se toma como voltajes iniciales de barras el valor de:  $1.0 + j 0.0$  p.u. y el modelo PI de las líneas.

### 3.1.1. PROGRAMA EN COORDENADAS RECTANGULARES.

El programa principal consta de programa principal y cinco subrutinas.

El programa principal hace lo siguiente:

- 1) Lee datos generales como el número de: barras, elementos, transformadores, líneas y barras de tensión controlada. Lee el valor del parámetro de conver - gencia EPSI. Escribe todos estos parámetros y realiza un control de errores de los mismos.
- 2) Si existen transformadores, lee sus parámetros, los nodos a que están conectados, calcula la variación de su admitancia debido al empleo de taps. Sino hay transformadores lee valores de admitancia de las líneas y realiza un control de errores de los mismos.
- 3) Lee los datos de las barras y realiza un control de identificación del tipo de barra.
- 4) Almacena datos iniciales del Sistema.



- 5) Dependiendo de los indicadores de salida, llama a los subprogramas que sacan barras o elementos.
- 6) Llama al subprograma que verifica que las barras tengan elementos conectados a ellas. Luego llama a los subprogramas que ordena los elementos y que forma la matriz Y Barra.
- 7) Si el número de barras es mayor que 13, escoge como método de resolución de la ecuación (2.11) al de factorización L.U.
- 8) Determina la potencia neta en las barras.
- 9) Encera la matriz de coeficientes.
- 10) Calcula: corrientes de barras, potencia activa y reactiva en barras; la diferencia de potencias entre la especificada y calculada.
- 11) Realiza la prueba de convergencia. Si ha obtenido la solución va a 19.
- 12) Calcula el vector Z formado por la diferencias de potencias.

- 13) Calcula la matriz de coeficientes A. Utilizando las ecuaciones del numeral 2.2. del capítulo anterior.
- 14) Forma la matriz de coeficientes aumentada, compuesta por la matriz A y el vector Z.
- 15) Con un contador se selecciona el método de resolución de la ecuación (2.11), siguiendo este orden: eliminación de Gauss, Gauss-Jordán y el de factorización L.U.
- 16) La solución de la ecuación (2-11) es el vector X que contiene las correcciones de voltajes de barras.
- 17) Realiza la corrección de voltajes de barras.
- 18) Incrementa el contador de iteraciones si es menor a 7 regresa al punto 9, de lo contrario va al punto 23.
- 19) Imprime las corrientes y potencias en las barras.- Luego calcula el módulo del voltaje y el ángulo del mismo en grados, imprimiendo estos valores.
- 20) Calcula los flujos y pérdidas de potencia en los elementos del Sistema.

- 21) Calcula: potencia activa y reactiva en la barra slack y las potencias totales de: carga, generación y pérdidas en el Sistema.
- 22) Lee indicadores de cambios en el Sistema original sino hay cambios el programa termina, caso contrario el sistema original es reestablecido y el programa retorna al punto 5.
- 23) Si la solución rebasa el número de iteraciones, el programa retorna a condiciones iniciales de cálculo y cambia el método de solución de la ecuación (2-11) y retorna al punto 9. Si la solución no ha sido obtenida por los tres métodos de resolución de la ecuación (2-11) el programa se detiene.

Las subrutinas que el programa principal llama son:

SUBROUTINE BARRAS

SUBROUTINE SALIDA

SUBROUTINE RENUME

SUBROUTINE ORDEN

SUBROUTINE MATRIZ

La función que cumplen es la siguiente:

SUBROUTINE BARRAS: Cuando un indicador de salida de barras es diferente de cero, determina

la salida de esa barra y el programa principal llama a este subprograma que escribe el nombre de la barra que sale, reordena los datos de todas las barras, determina el número final de barras del Sistema y por último inicializa el contador de salida de elementos con el valor de 1, en aquellos elementos conectados a las barras que salen del Sistema.

SUBROUTINE SALIDA: Este subprograma es llamado cuando -  
hay salida de barras en el sistema o cuando el indicador de salida de elementos es diferente de cero. Su función es el de determinar el número de elementos que quedan en el sistema, imprime los elementos que - salen, y reordena los datos de los elementos.

SUBROUTINE RENUM: Este subprograma es llamado siempre -  
por el programa principal, su función es determinar el número de elementos conectados a cada barra, caso haya salido una barra o un elemento ha sido sacado y aísla a una barra terminal entonces el número de elementos conectados a la barra es cero y el subprograma disminuye en uno los nodos p y q que son mayores a la barra que sale. Este subprograma es complementario a los dos subprogramas anteriores y proporciona seguridad en lo que se refiere a numeración de barras.

SUBROUTINE ORDEN: Su función es el de ordenar ascendente  
mente el nodo p respecto del nodo q, -

luego ordena los datos del sistema en forma ascendente de acuerdo al nodo p al que están conectados los elementos y para los elementos que tienen el mismo nodo p, los ordena de acuerdo al nodo q. Este ordenamiento es fundamental para la formación de la matriz Y de barra.

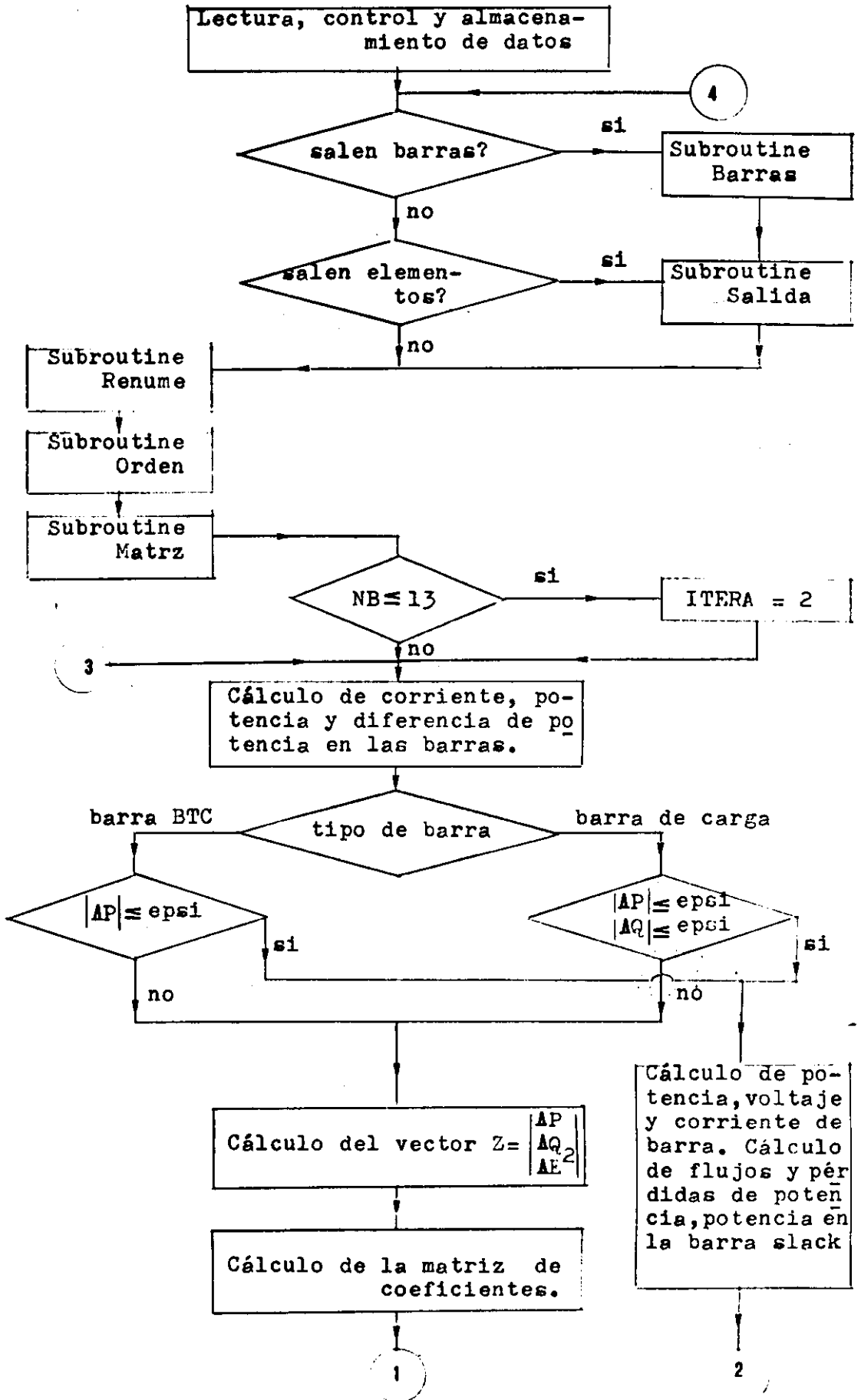
SUBROUTINE MATRIZ: Su función es la de calcular los elementos de la matriz Y de barra que son diferentes de cero, este subprograma desarrolla un algoritmo para representar Y de barra en forma de vector, con lo cual se obtiene un considerable ahorro de memoria en el computador. Para llevar a cabo este almacenamiento requiere dos vectores adicionales.

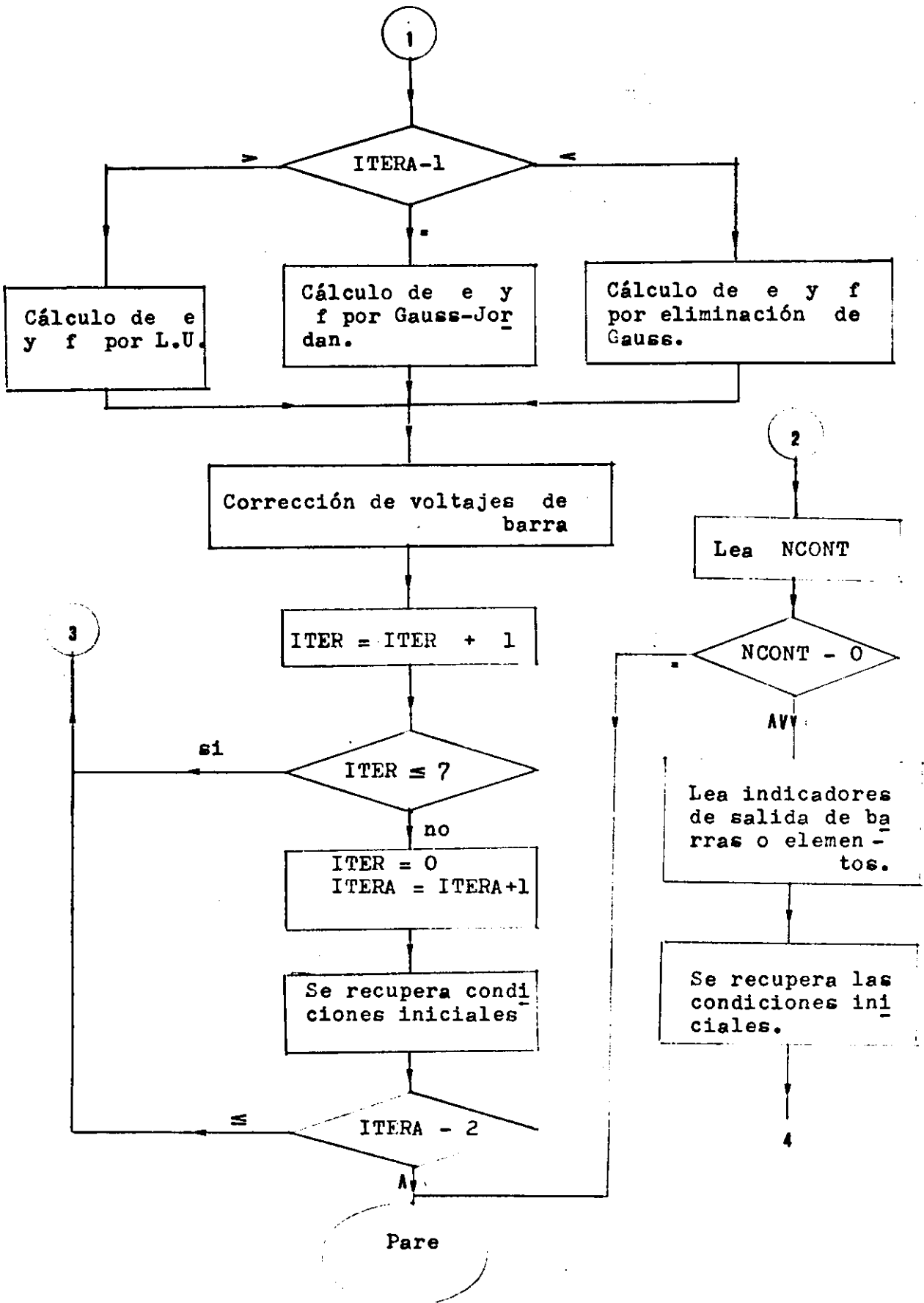
Tanto los subprogramas ORDEN, MATRIZ y el cálculo de la variación de la admitancia del transformador debido al empleo de taps son tomados de la referencia (8).

Los puntos 10, 11 y 20 son tomados de la referencia (9). En la página siguiente se adjunta el diagrama de flujo.

### 3.1.2 PROGRAMA EN COORDENADAS POLARES.

En vista de que el programa en coordenadas polares es muy similar al programa en coordenadas rectangulares como se vió en 3.1. no se hará una descripción detallada del





mismo, sino que se lo describirá en función del anterior.

El programa consta de programa principal y de cinco subprogramas. Los subprogramas son los mismos que utiliza el programa en coordenadas rectangulares.

El programa principal realiza lo siguiente:

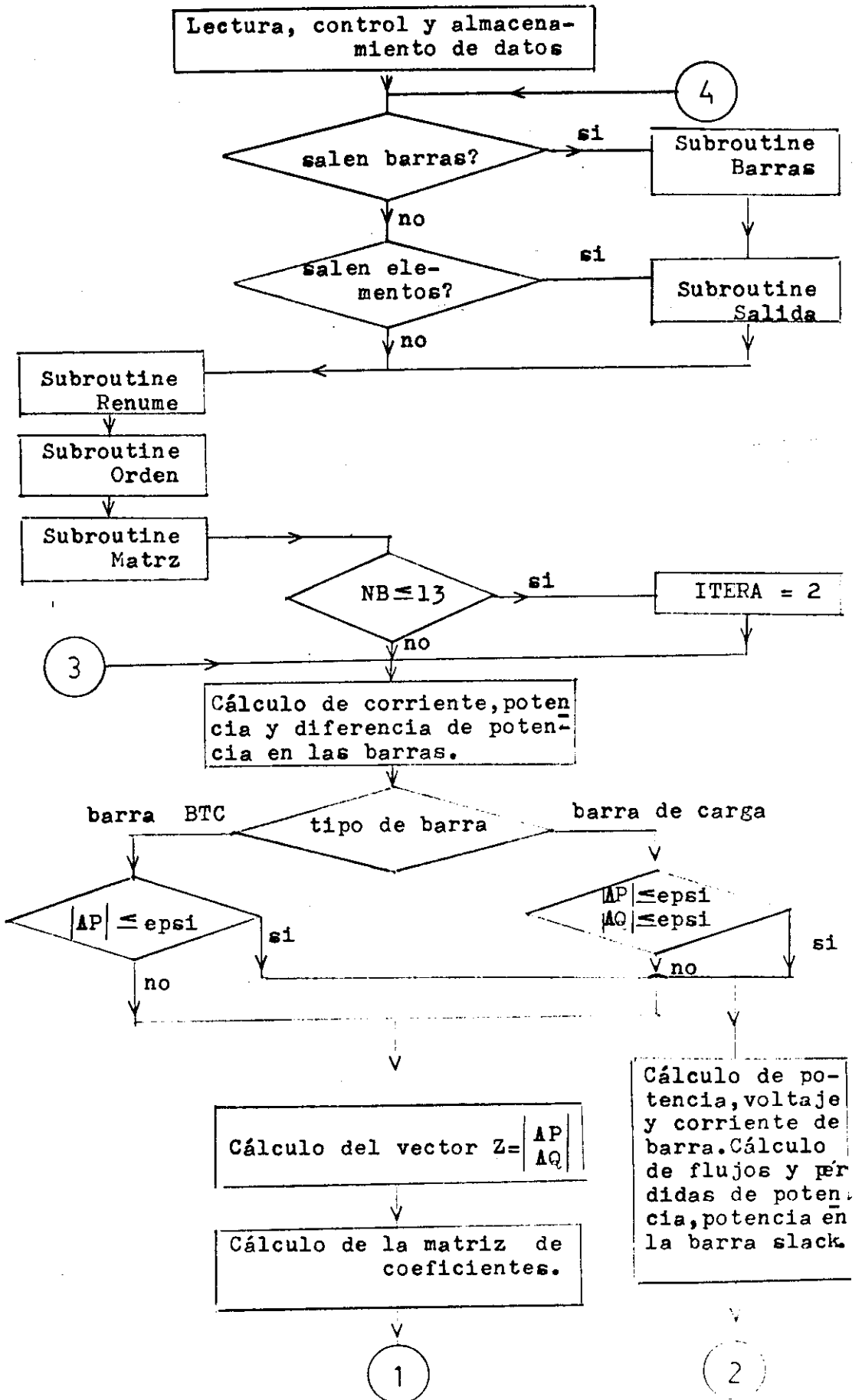
- 1) Ejecuta los puntos de el uno al ocho del programa anterior.
- 2) Calcula el módulo y ángulo del voltaje de las barras.
- 3) Realiza los puntos nueve, diez y once del programa anterior.
- 4) Calcula el vector Z y este tiene una formación alternada de la diferencia de potencia, o sea un  $\Delta P_k$  y  $\Delta Q_k$  y si una barra es de tensión controlada la secuencia será:  $\Delta P_k$  y un  $\Delta P_{k+1}$ .
- 5) Calcula la matriz de coeficientes en coordenadas polares.
- 6) Ejecuta los puntos catorce, quince y dieciseis del programa en rectangulares, solo que el vector X contiene  $\Delta E/E$  y  $\Delta \delta$ .

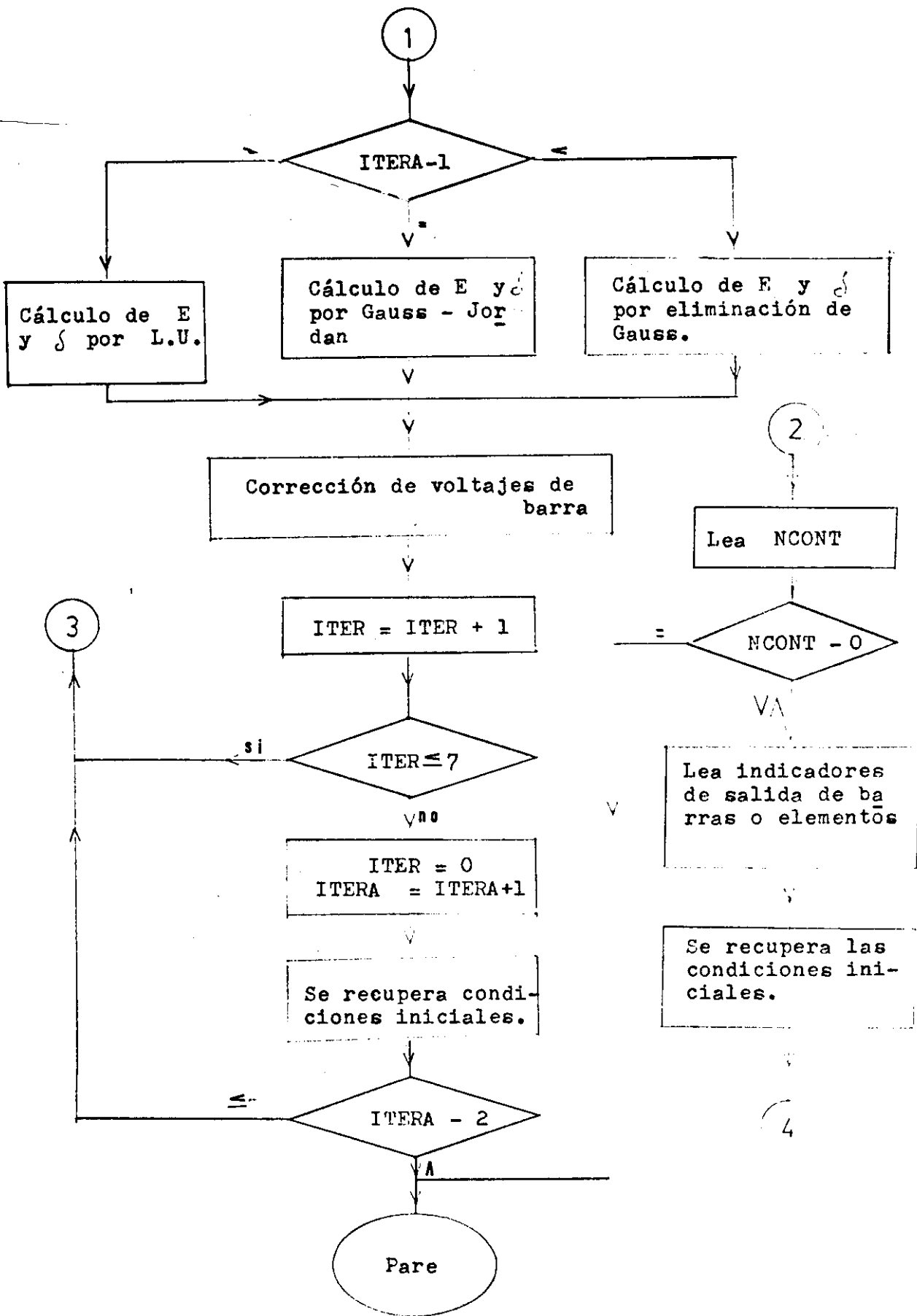


- 7) Se corrige los voltajes de barra tanto en módulo como en ángulo, y se calcula las componentes real e imaginaria del voltaje de barra.
  
- 8) Ejecuta los puntos dieciocho y diecinueve del programa anterior y calcula el ángulo en grados antes de la impresión.
  
- 9) Ejecuta los puntos veinte, veintiuno y veintidos, el punto veinte y tres lo ejecuta casi íntegramente y el control de transferencia lo hace al punto dos de este programa.

Cabe indicar que el guión cinco de este numeral es tomado de la referencia (9) con una ligera variación a fin de que el programa trabaje con barras de tensión controlada. De la misma referencia fue tomado el método de resolución de ecuaciones L.U.

En la página siguiente se presenta el diagrama de flujo correspondiente.





## C A P I T U L O    I V

### APLICACIONES.

#### 4.1 APLICACION DE LOS PROGRAMAS A SISTEMAS.

Con el propósito de verificar el funcionamiento y los resultados de los programas de computación, se ha decidido aplicarlos en los Sistemas: Stagg, Ambato y Guayaquil. En los Sistemas Stagg y Ambato a más de correr el sistema original se probará con un cambio en el sistema.

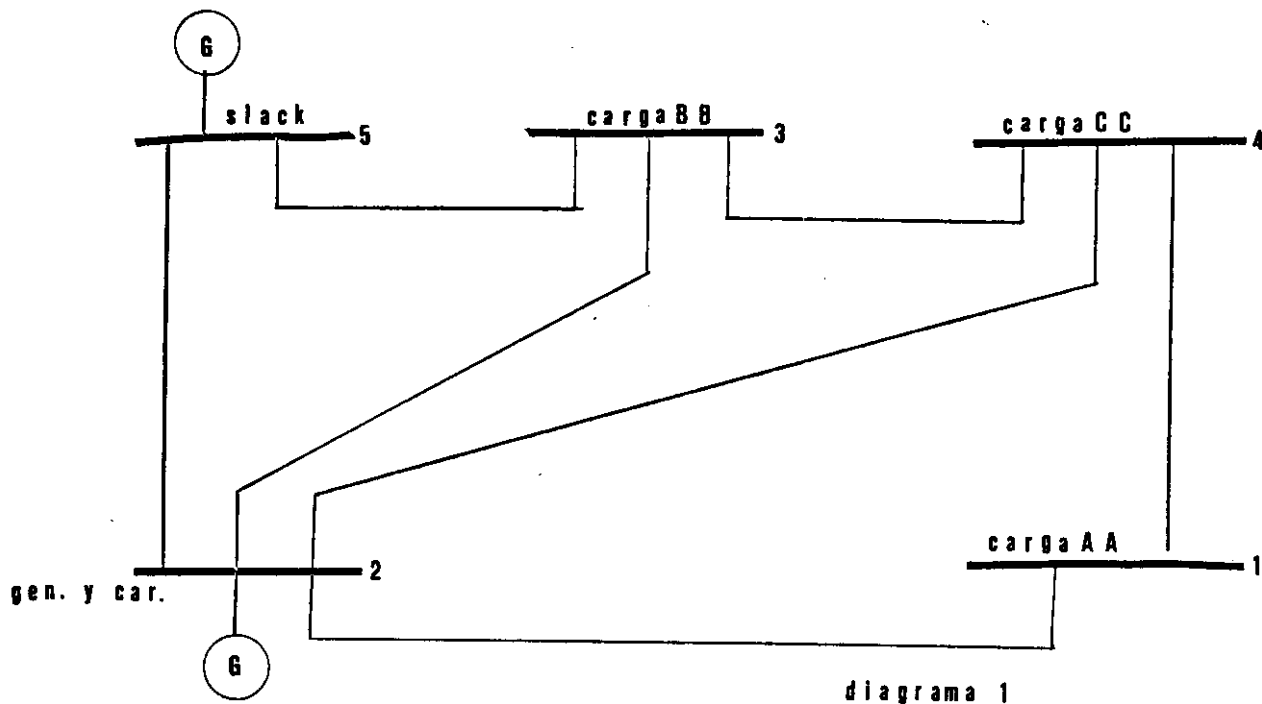
Los resultados obtenidos se adjuntaran a los diagramas de los respectivos Sistemas. Primeramente se presentan los resultados obtenidos en coordenadas rectangulares y luego los obtenidos en coordenadas polares.

En vista de que la entrada y salida de datos es igual en los dos sistemas de coordenadas y que estos realizan procesos idénticos en busca de la solución; en los resultados de coordenadas polares se presentaran corrientes, potencias, voltajes de barra, flujos de potencia y pérdidas en los elementos, potencias en la barra slack, y potencia total de: generación, - carga y pérdidas del sistema.

La forma de introducir datos y el significado de las variables de entrada y salida se describe en el manual de uso del programa.

4.1.1. APLICACION DE LOS PROGRAMAS AL SISTEMA STAGG.

El diagrama del Sistema Stagg es el siguiente:



La modificación que se hace el diagrama anterior es retirar la barra 1, llamada DE CARGA AA.

Los resultados obtenidos se presentan en las páginas siguientes.

SISTEMA STAGG  
\*\*\*\*\*

TORO ENGENIERIA  
 S.A. DE C.V.  
 C.P. 060103

DATOS GENERALES

NB	NE	NL	NT	NBTC
5	7	7	0	0.00103

ADMITANCIA PRIMITIVA

ELEN	NP	NQ	G	B
1	2	5	5.00000	-15.00000
2	2	4	1.67000	-5.00000
3	2	3	1.67000	-5.00000
4	3	5	1.25000	-3.75000
5	1	4	1.25000	-3.75000
6	3	4	10.00000	-30.00000
7	1	2	2.50000	-7.50000

ADMITANCIA A TIERRA

	GP	BP	GO	BO	IND
	0.00000	0.03000	0.00000	0.03000	0
	0.00000	0.02000	0.00000	0.02000	0
	0.00000	0.02000	0.00000	0.02000	0
	0.00000	0.02500	0.00000	0.02500	0
	0.00000	0.02500	0.00000	0.02500	0
	0.00000	0.01000	0.00000	0.01000	0
	0.00000	0.01500	0.00000	0.01500	0

DATOS DE POTENCIA Y VOLTAJE EN LAS BARRAS

NBI	NBS	NOMBRE	PG	QG	PC	QC	E	F	IND
1	1	DE CARGA AA	0.00000	0.00000	0.60000	0.10000	1.00000	0.00000	0
1	2	DE GEN. Y CAR.	0.40000	0.30000	0.20000	0.10000	1.00000	0.00000	0
1	3	DE CARGA BB	0.00000	0.00000	0.45000	0.15000	1.00000	0.00000	0
1	4	DE CARGA CC	0.00000	0.00000	0.40000	0.05000	1.00000	0.00000	0

DATOS DE LA BARRA FLOTANTE

NBI	NBS	NOMBRE	PC	QC	E(NB)	F(NB)	IND
2	5	BARRA SLACK	0.00000	0.00000	1.06000	0.00000	0

SOLUCION UTILIZANDO COORDENADAS RECTANGULARES

NUMERACION FINAL DE BARRAS

- 1 DE CARGA AA
- 2 DE GEN. Y CAR.
- 3 DE CARGA BB
- 4 DE CARGA CC
- 5 BARRA SLACK

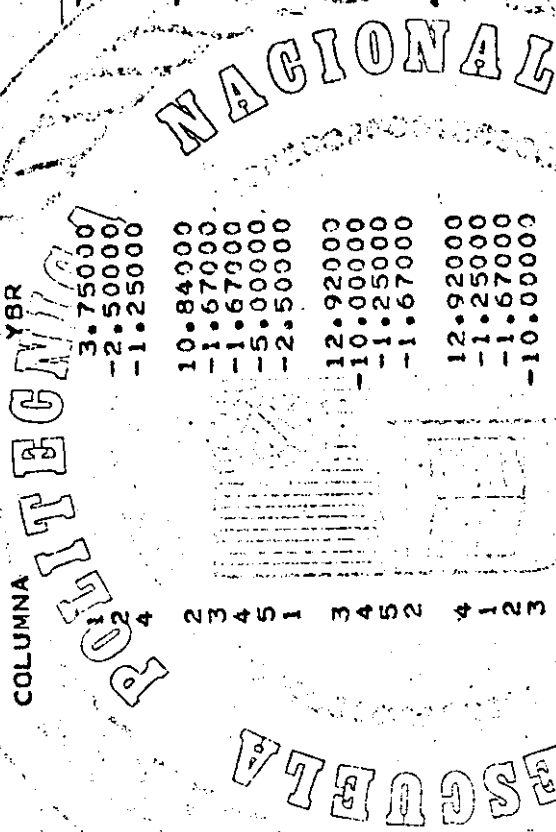
ORDENAMIENTO DE LOS ELEMENTOS PARA FORMACION DE LA MATRIZ Y-BARRA

ADMITANCIA PRIMITIVA ADMITANCIA A TIERRA

ELEM	NP	NQ	G	B	GP	BP	GO	BO
1	1	2	2.50000	-7.50000	0.00000	0.01500	0.00000	0.01500
2	1	3	1.25000	-3.75000	0.00000	0.02500	0.00000	0.02500
3	2	3	1.67000	-5.00000	0.00000	0.02000	0.00000	0.02000
4	2	4	1.67000	-5.00000	0.00000	0.02000	0.00000	0.03000
5	2	5	5.00000	-15.00000	0.00000	0.03000	0.00000	0.01000
6	3	4	10.00000	-30.00000	0.00000	0.01000	0.00000	0.00000
7	3	5	1.25000	-3.75000	0.00000	0.02500	0.00000	0.02500

MATRIZ ADMITANCIA DE BARRA Y-BARRA

FILA	DIRECCION	COLUMNA	YBR	YBI
1	1	1	3.75000	-11.21000
		2	-2.50000	7.50000
		4	-1.25000	3.75000
2	4	1	10.84000	-32.41498
		2	-1.67000	5.00000
		4	-1.67000	5.00000
		5	-5.00000	15.00000
		1	-2.50000	7.50000
3	9	1	12.92000	-38.69498
		3	-10.00000	30.00000
		4	-1.25000	3.75000
		5	-1.67000	5.00000
4	13	1	12.92000	-38.69498
		4	-1.25000	3.75000
		1	-1.67000	5.00000
		3	-10.00000	30.00000
5	17	1	6.25000	-18.69498
		5	-5.00000	15.00000
		3	-1.25000	3.75000



SOLUCION UTILIZANDO ELIMINACION DE GAUSS

QUITO

POTENCIA

CORRIENTES DE BARRA

AI(P)REAL BI(P)IMAGINARIA P

NBS	NOMBRE	AI(P)REAL	BI(P)IMAGINARIA	P
1	DE CARGA AA	-0.57554	0.15988	-0.60005
2	DE GEN. Y CAR.	0.18201	-0.20041	0.20036
3	DE CARGA BB	-0.42482	0.18377	-0.14963
4	DE CARGA CC	-0.38458	3.08447	-0.04954



RESULTADOS DE VOLTAJE

NBS	NOMBRE	E(P)	F(P)	MDD(P)	ANG(P)
1	DE CARGA AA	1.01229	-0.13909	1.01815	-6.15080
2	DE GEN. Y CAR.	1.04630	-0.05129	1.04756	-2.80617
3	DE CARGA BB	1.02043	-0.08921	1.02432	-4.99643
4	DE CARGA CC	1.01930	-0.09507	1.02373	-5.32871

FLUJO DE POTENCIAS Y PERDIDAS

NP	NQ	P(PQ)	PPR	Q(PQ)	QPR
1	2	-0.53701	0.01124	-0.07095	0.01170
2	1	0.54825	0.01124	0.07255	0.01170
1	4	-0.06305	0.00030	-0.02813	-0.05121
4	1	0.06335	0.00030	-0.02308	-0.05121
2	3	0.24700	0.00351	0.03516	-0.03242
3	2	-0.24349	0.00351	-0.06759	-0.03242
4	2	0.27942	0.00441	0.02923	-0.02970
2	5	-0.27501	0.00441	-0.05893	-0.02970
5	2	0.87397	0.01406	0.06331	-0.02444
2	3	0.88893	0.01406	-0.09776	-0.02444
3	4	0.18371	0.00031	-0.05250	-0.02004
4	3	-0.18840	0.00031	0.03246	-0.02004
3	5	-0.39514	0.01190	-0.02960	-0.01862
5	3	0.40704	0.01190	0.01098	-0.01862

POTENCIA EN LA BARRA FLOTANTE

P= 1.29508 Q= -0.07678

POTENCIA TOTAL DE CARGA PCT= 1.65000  
POTENCIA TOTAL DE GENERACION PGT= 1.69508  
POTENCIA TOTAL DE PERDIDAS PPERT= 0.04508

SOLUCION UTILIZANDO COORDENADAS RECTANGULARES

NUMERO DE ITERACIONES = 2

QCT= 0.40000  
OGT= 0.22322  
QPRT= -0.17678

1.65000  
1.69508  
0.04508

\*\*\*\*\*  
EL PROGRAMA REALIZA UN NUEVO FLUJO DE CARGA  
POR VARIACION DE LA CONFIGURACION DEL SISTEMA  
\*\*\*\*\*

SALE LA BARRA DE CARGA AA DEL SISTEMA

QUITO

DEL SISTEMA

\*\*\* DE CARGA CC

SALE EL ELEMENTO DE CARGA AA

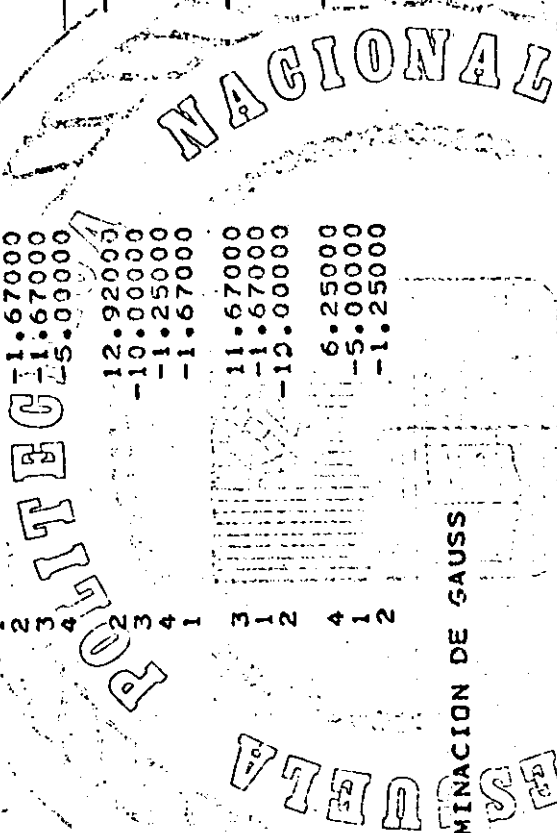
DEL SISTEMA

\*\*\* DE GEN. Y CAR.

SALE EL ELEMENTO DE CARGA AA

MATRIZ ADMITANCIA DE BARRA Y-BARRA

FILA	DIRECCION	COLUMNA	YBR	YBI
1	1	1	8.34000	-24.92998
		2	11.67000	5.00000
		3	11.67000	5.00000
		4	15.00000	15.00000
2	5	2	12.92000	-38.69498
		3	-10.00000	30.00000
		4	-1.25000	3.75000
		1	-1.67000	5.00000
3	9	3	11.67000	-34.96999
		1	-1.67000	5.00000
		2	-10.00000	30.00000
4	12	4	6.25000	-18.69498
		1	-5.00000	15.00000
		2	-1.25000	3.75000



SOLUCION UTILIZANDO ELIMINACION DE GAUSS

NBS	NOMBRE	AI(P)REAL	BI(P)IMAGINARIA	P	POTENCIA
1	DE GEN. Y CAR.	0.18454	-0.19303	0.20031	0.20041
2	DE CARGA BR	-0.42481	0.17203	-0.44996	-0.14976
3	DE CARGA CC	-0.38262	0.07387	-0.40007	-0.04979

QUIL

NUMERACION FINAL DE BARRAS

- 1 DE GEN. Y CAR.
- 2 DE CARGA BB
- 3 DE CARGA CC
- 4 BARRA SLACK

ORDENAMIENTO DE LOS ELEMENTOS PARA FORMACION DE LA MATRIZ Y-BARRA

ADMITANCIA PRIMITIVA ADMITANCIA A TIERRA

ELEN	NP	NQ	G	B	GP	BP	GQ	BQ
1	1	2	1.67000	-5.00000	0.00000	0.02000	0.00000	0.02000
2	1	3	1.67000	-5.00000	0.00000	0.02000	0.00000	0.02000
3	1	4	5.00000	-15.00000	0.00000	0.03000	0.00000	0.03000
4	2	3	10.00000	-30.00000	0.00000	0.01000	0.00000	0.01000
6	2	4	1.25000	-3.75000	0.00000	0.02500	0.00000	0.02500

RESULTADOS DE VOLTAJE

NBS	NOMBRE	E(P)	F(P)	MOD(P)	ANG(P)
1	DE GEN. Y CAR.	1.06080	-0.02359	1.06106	-1.27398
2	DE CARGA BB	1.03262	-0.06563	1.03470	-3.63689
3	DE CARGA CC	1.03224	-0.06915	1.03455	-3.83248

FLUJO DE POTENCIAS Y PERDIDAS

NP	NQ	P(PQ)	PPER	Q(PQ)	QPER
1	2	0.27459	0.00427	0.04640	-0.03114
2	1	-0.27032	0.00427	-0.07754	-0.03114
1	3	0.29380	0.00482	0.04174	-0.02949
3	1	-0.28878	0.00482	-0.07123	-0.02949
1	4	-0.36809	0.00276	0.11227	-0.05920
4	1	0.37085	0.00276	-0.17147	-0.05920
2	3	0.11119	0.00009	-0.04256	-0.02115

3	2	-0.11111	0.00009	0.02140	-0.02115
2	4	-0.29086	0.00632	-0.02969	-0.03591
4	2	0.29718	0.00632	-0.00622	-0.03591

POTENCIA EN LA BARRA FLOTANTE

P= 0.66803 Q= -0.17769

POTENCIA TOTAL DE CARGA	PCI=	1.05000	OCT=	0.30000
POTENCIA TOTAL DE GENERACION	PGT=	1.06803	OGT=	0.12231
POTENCIA TOTAL DE PERDIDAS	PPERT=	0.01803	QPERT=	-0.17769

SOLUCION UTILIZANDO COORDENADAS RECTANGULARES

NERO DE ITERACIONES = 2

INTEC

SOLUCION UTILIZANDO ELIMINACION DE GAUSS					
QUITO					
CORRIENTES DE BARRA					
NBS	NOMBRE	AI(P)REAL	BI(P)IMAGINARIA	P	POTENCIA
1	DE CARGA AA	-0.57595	0.16054	-0.60048	-0.09964
2	DE GEN. Y CAR.	0.18222	-0.20079	0.20095	0.20073
3	DE CARGA BB	-0.42494	0.18391	-0.45000	-0.14973
4	DE CARGA CC	-0.38488	0.08479	-0.40034	-0.04982

RESULTADOS DE VOLTAJE					
NBS	NOMBRE	E(P)	F(P)	MOD(P)	ANG(P)
1	DE CARGA AA	1.01217	-0.10913	1.01803	-6.15353
2	DE GEN. Y CAR.	1.04626	-0.05130	1.04752	-2.89709
3	DE CARGA BB	1.02036	-0.08924	1.02425	-4.99838
4	DE CARGA CC	1.01922	-0.09511	1.02364	-5.33093

FLUJO DE POTENCIAS Y PERDIDAS

NP	NQ	P(PQ)	PPR	Q(PQ)	GPER
1	2	-0.53737	0.01127	-0.07141	0.00180
2	1	0.54864	0.01127	0.07321	0.00180
1	4	-0.06311	0.00031	-0.02323	-0.05118
1	1	0.06342	0.00031	-0.02295	-0.05118
2	3	0.24713	0.00353	0.03534	-0.03236
3	2	-0.24361	0.00353	-0.06770	-0.03236
2	4	0.27939	0.00443	0.02944	-0.02964
4	2	-0.27516	0.00443	-0.05908	-0.02964
2	5	-0.87439	0.01410	0.06284	-0.02433
3	2	0.88349	0.01410	-0.08716	-0.02433
3	4	0.18896	0.00037	-0.05216	-0.01985
4	3	-0.18858	0.00037	0.03231	-0.01985
3	5	-0.39534	0.01192	-0.02981	-0.01856
5	3	0.40726	0.01192	0.01125	-0.01856

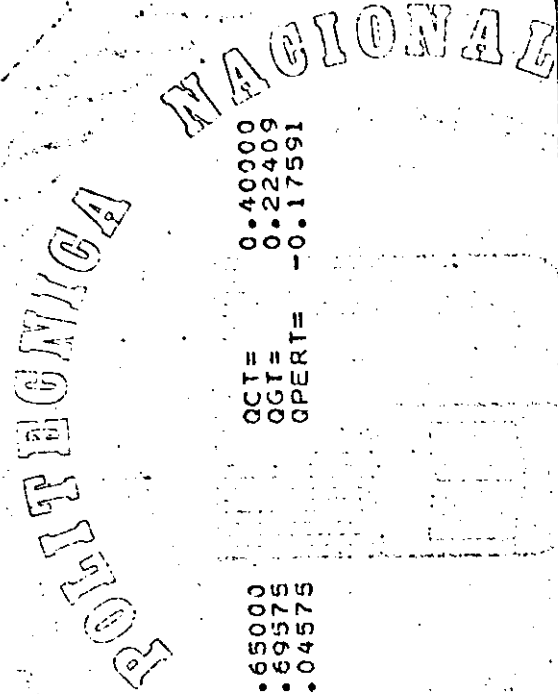
POTENCIA EN LA BARRA FLOTANTE

P= 1.29575 Q= -0.07591

POTENCIA TOTAL DE CARGA PCT= 1.65000  
 POTENCIA TOTAL DE GENERACION PGT= 1.69575  
 POTENCIA TOTAL DE PERDIDAS PPRT= 0.04575

SOLUCION-UTILIZANDO COORDENADAS POLARES

NUMERO DE ITERACIONES = 2



QCT= 0.40000  
 QGT= 0.22409  
 QPERT= -0.17591



AL

SOLUCION UTILIZANDO ELIMINACION DE GAUSS

CORRIENTES DE BARRA POTENCIA

NBS	NOMBRE	AI(P)REAL	BI(P)IMAGINARIA	P	Q
1	DE GEN. Y CAR.	0.18474	-0.19310	0.20053	0.20048
2	DE CARGA BB	-0.42495	0.17211	-0.45310	-0.14982
3	DE CARGA CC	-0.33287	0.07391	-0.40032	-0.04981

RESULTADOS DE VOLTAJE

NBS	NOMBRE	E(P)	F(P)	MOD(P)	ANG(P)
1	DE GEN. Y CAR.	1.06080	-0.02359	1.06106	-1.27419
2	DE CARGA BB	1.03260	-0.06566	1.03468	-3.63828
3	DE CARGA CC	1.03222	-0.06918	1.03454	-3.83405

FLUJO DE POTENCIAS Y PERDIDAS

NP	NO	P(PQ)	PPER	Q(PQ)	CPER
1	2	0.27473	0.00429	0.04646	-0.03110
2	1	-0.27044	0.00429	-0.07756	-0.03110

1	3	0.29736	0.00484	0.04181	-0.02944
3	1	-0.28913	0.00484	-0.07124	-0.02944
1	4	-0.36814	0.00279	0.11232	-0.05911
4	1	0.37093	0.00279	-0.17143	-0.05911
2	3	0.11132	0.00013	-0.04249	-0.02101
3	2	-0.11119	0.00013	0.02148	-0.02101
2	4	-0.29097	0.00633	-0.02971	-0.03587
4	2	0.29730	0.00633	-0.00617	-0.03587

POTENCIA EN LA BARRA FLOTANTE

PE = 0.66823      Q = -0.17760

POTENCIA TOTAL DE CARGA PCT = 1.05000      QCT = 0.30000  
 POTENCIA TOTAL DE GENERACION PGT = 1.06823      QGT = 0.12240  
 POTENCIA TOTAL DE PERDIDAS PPRT = 0.01823      QPERT = -0.17760

SOLUCION UTILIZANDO COORDENADAS POLARES

OLITECNICA

NUMERO DE ITERACIONES = 2

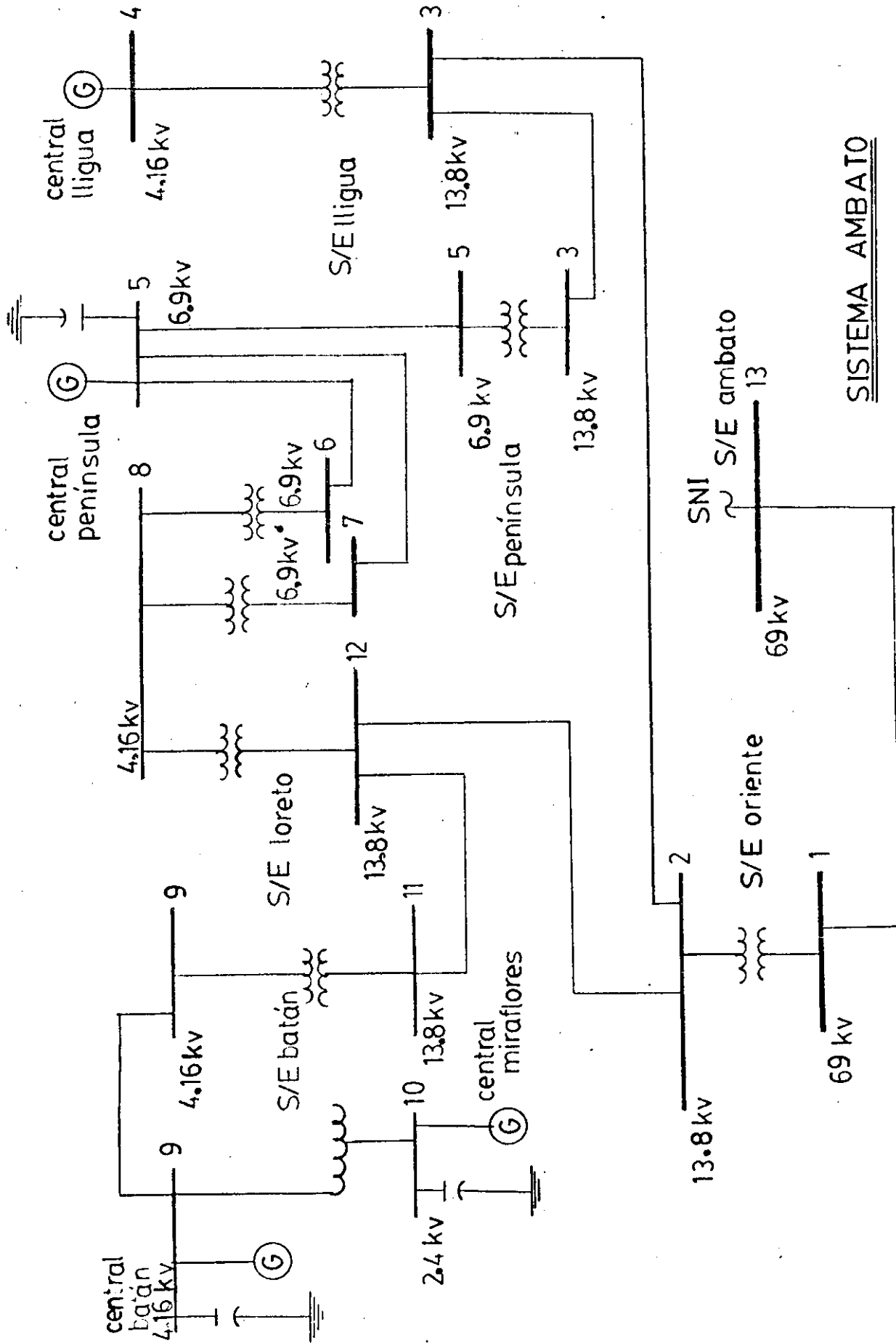
#### 4.1.2. APLICACION DE LOS PROGRAMAS AL SISTEMA AMBATO.

El diagrama del Sistema Ambato se adjunta en la página siguiente.

La modificación que se hace al sistema es el retirar el elemento transformador ubicado en la S/E Loreto que enlaza los niveles de 4.16 KV a 6.9 KV.

Los resultados a presentarse serán: datos del Sistema, los resultados de corriente, potencia, voltaje en las barras; flujos de potencia en los elementos y pérdidas en los mismos, potencia en la barra slack y potencia total de: generación, carga y pérdidas del sistema.

Es necesario recalcar que los primeros resultados son los obtenidos del programa en coordenadas rectangulares.



SISTEMA AMBATO

diagrama 2

SISTEMA AMBATO  
\*\*\*\*\*

DATOS GENERALES

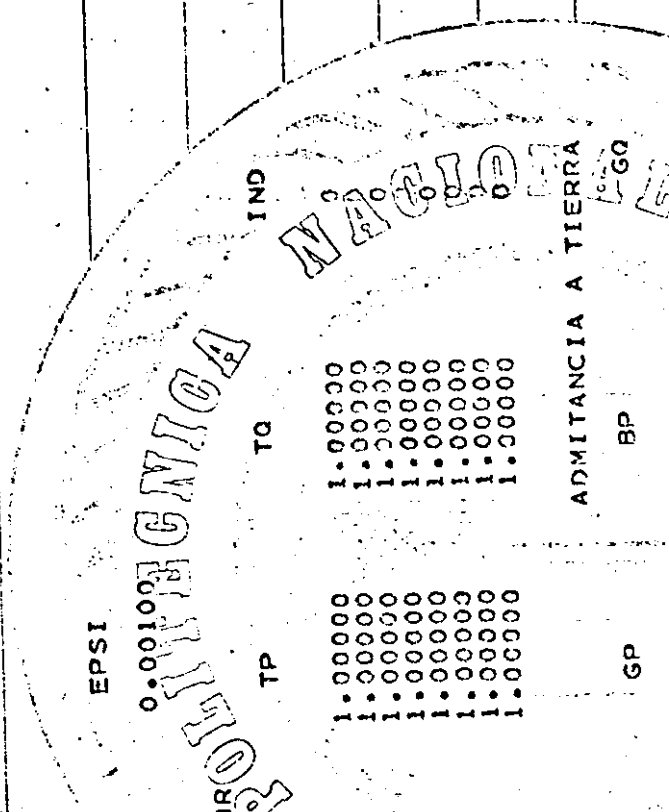
NB NB NE NL NT NBTC EPSI  
13 15 7 8 0 0.001000

ADMITANCIA DEL TRANSFORMADOR

ELEM	NP	NQ	G	B	TP	TQ	IND
1	1	2	0.00000	-1.97900	1.00000	1.00000	0
2	3	4	0.00000	-1.19060	1.00000	1.00000	0
3	5	5	0.00000	-0.36310	1.00000	1.00000	0
4	6	8	0.00000	-0.54560	1.00000	1.00000	0
5	7	8	0.00000	-0.54560	1.00000	1.00000	0
6	8	12	0.00000	-0.48980	1.00000	1.00000	0
7	9	10	0.00000	-1.07150	1.00000	1.00000	0
8	9	11	0.00000	-0.67840	1.00000	1.00000	0

ADMITANCIA PRIMITIVA

ELEM	NP	NQ	G	B	GP	BP	BQ	IND
9	1	13	12.99040	-28.30910	0.00000	0.00000	0.00000	0
10	2	3	0.75000	-0.68160	0.00000	0.00000	0.00000	0
11	2	12	1.96480	-1.69360	0.00000	0.00000	0.00000	0
12	5	6	0.18060	-0.24200	0.00000	0.00000	0.00000	0
13	5	7	0.18060	-0.24200	0.00000	0.00000	0.00000	0
14	8	9	0.08730	-0.11980	0.00000	0.00000	0.00000	0
15	11	12	0.82790	-0.99760	0.00000	0.00000	0.00000	0



DATOS DE POTENCIA Y VOLTAJE EN LAS BARRAS

NBI	NBS	NOMBRE	PG	QG	PC	QC	E	F	IND
1	1	ORIENTE 69 KV	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	2	ORIENTE 13.8 KV	0.00000	0.00000	0.04550	0.02760	1.00000	0.00000	0
1	3	LLIGUA 13.8 KV	0.00000	0.00000	0.01690	0.01130	1.00000	0.00000	0
1	4	LLIGUA 4.16 KV	0.01800	0.01400	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	5	PENINSULA 6.9 KV	0.01900	0.01500	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	6	LORETO 6.9 KV	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	7	LORETO 6.9 KV *	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	8	LORETO 4.16 KV	0.00000	0.00000	0.03810	0.01840	1.00000	0.00000	0
1	9	BATAN 4.16 KV	0.01500	0.01700	0.04660	0.02200	1.00000	0.00000	0
1	10	MIRAFLORES 2.4KV	0.01100	0.01433	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	11	BATAN 13.8 KV	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	12	LORETO	0.00000	0.00000	0.00530	0.00250	1.00000	0.00000	0

DATOS DE LA BARRA FLOTANTE

NBI	NBS	NOMBRE	PG	QG	PC	QC	E(NB)	F(NB)	IND
2	13	SISTEMA NACIONAL	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0

SOLUCION UTILIZANDO COORDENADAS RECTANGULARES

IONA

SOLUCION UTILIZANDO ELIMINACION DE GAUSS

POTENCIA

CORRIENTES DE BARRA

AI(P)REAL BI(P)IMAGINARIA P

NBS	NOMBRE	AI(P)REAL	BI(P)IMAGINARIA	P
1	ORIENTE 69 KV	0.00000	-0.00005	0.00000
2	ORIENTE 13.8 KV	-0.04480	0.03026	-0.04551
3	LLIGUA 13.8 KV	-0.01651	0.01224	-0.01696
4	LLIGUA 4.16 KV	0.01756	-0.01448	0.01812
5	PENINSULA 6.9 KV	0.01804	-0.01723	0.01909
6	LORETO 6.9 KV	-0.00001	-0.00001	-0.00001
7	LORETO 6.9 KV *	-0.00001	-0.00001	0.00001
8	LORETO 4.16 KV	-0.03752	0.02294	-0.03788
9	BATAN 4.16 KV	-0.03172	0.00856	-0.03157
10	MIRAFLORES 2.4KV	0.00968	-0.01577	0.01102
11	BATAN 13.8 KV	0.00001	0.00000	0.00001
12	LORETO	-0.00596	0.00294	-0.00594

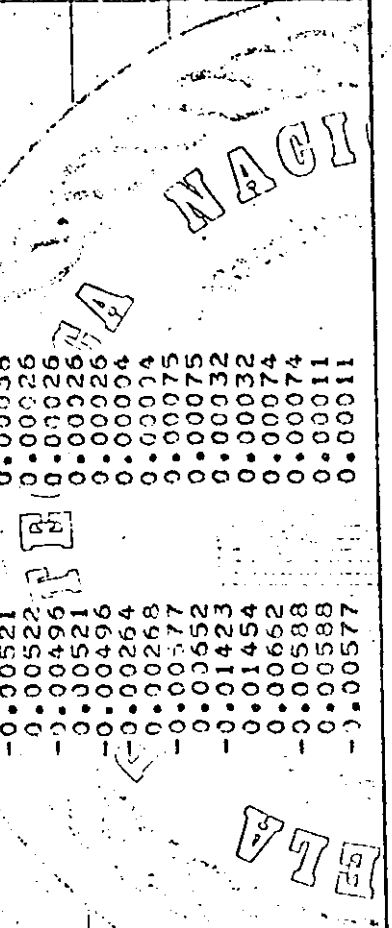
RESULTADOS DE VOLTAJE

NBS	NOMBRE	E(P)	F(P)	MOD(P)	ANG(P)
1	ORIENTE 69 KV	0.99795	-0.00228	0.99795	-0.13089
2	ORIENTE 13.8 KV	0.98317	-0.04838	0.98436	-2.81721
3	LLIGUA 13.8 KV	0.98696	-0.05436	0.98845	-3.15271
4	LLIGUA 4.16 KV	0.99112	-0.03961	0.99990	-2.27927
5	PENINSULA 6.9 KV	1.00026	-0.06068	1.00210	-3.47147
6	LORETO 6.9 KV	0.96357	-0.07539	0.96661	-4.47305
7	LORETO 6.9 KV *	0.96367	-0.07539	0.96661	-4.47311
8	LORETO 4.16 KV	0.95229	-0.09400	0.95692	-5.63748
9	BATAN 4.16 KV	0.96690	-0.10556	0.97265	-6.23072

10	MIRAFLORES 2.4KV	0.98162	-0.09653	0.98636	-5.61628
11	BATAN 13.8 KV	0.96035	-0.07324	0.96313	-4.36137
12	LORETO	0.96844	-0.05799	0.97018	-3.42676

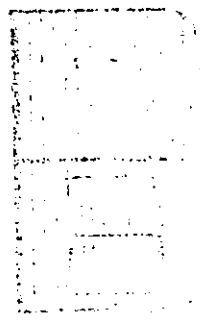
FLUJO DE POTENCIAS Y PERIDAS

NP	NQ	P(PQ)	PPER	Q(PQ)	QPER
1	2	0.09111	0.00000	0.02897	0.00464
1	1	-0.09111	0.00000	-0.02434	0.00464
1	13	-0.09111	0.00012	-0.02889	-0.00093
1	3	0.09124	0.00012	0.02796	-0.00093
2	3	0.00097	0.00004	0.00701	0.00003
2	12	-0.00094	0.00004	-0.00704	0.00003
2	4	0.04473	0.00061	0.00377	0.00052
2	12	-0.04413	0.00061	-0.00324	0.00052
3	4	-0.01812	0.00000	-0.01333	0.00043
3	5	0.01812	0.00000	0.01377	0.00043
3	5	0.00200	0.00000	0.00489	0.00008
3	3	-0.00200	0.00000	-0.00497	0.00008
3	6	0.01055	0.00028	0.00558	0.00038
3	5	-0.01027	0.00028	-0.00558	0.00038
3	7	0.01055	0.00028	0.00521	0.00038
3	7	-0.01027	0.00028	-0.00521	0.00038
3	8	0.01026	0.00000	0.00496	0.00026
3	8	-0.01026	0.00000	-0.00496	0.00026
3	7	0.01026	0.00000	0.00496	0.00026
3	8	-0.01026	0.00000	-0.00496	0.00026
3	9	0.00016	0.00003	0.00264	0.00004
3	9	-0.00019	0.00003	-0.00268	0.00004
3	8	0.01722	0.00000	0.00577	0.00075
3	8	-0.01722	0.00000	-0.00552	0.00075
3	9	0.01102	0.00000	0.01423	0.00032
3	9	-0.01102	0.00000	-0.01454	0.00032
3	11	0.02073	0.00000	0.00662	0.00074
3	11	-0.02073	0.00000	-0.00588	0.00074
3	11	0.02072	0.00025	0.00588	0.00011
3	11	-0.02097	0.00025	-0.00577	0.00011





ONAL



ESSE

POTENCIA EN LA BARRA FLOTANTE

P= 0.09124 Q= 0.02796

0.08180  
0.08938  
0.00758

OCT=  
OGI=  
OPERT=

0.15240  
0.15424  
0.00184

POTENCIA TOTAL DE CARGA PCT=  
POTENCIA TOTAL DE GENERACION PGI=  
POTENCIA TOTAL DE PERDIDAS PPERT=

QUITO

SOLUCION UTILIZANDO COORDENADAS RECTANGULARES

NUMERO DE ITERACIONES = 2

AL

SOLUCION UTILIZANDO ELIMINACION DE GAUSS

GP

RESOLUCION REBASA EL NUMERO DE ITERACIONES

SOLUCION UTILIZANDO GAUSS JORDAN

QUITO

POTENCIA

CORRIENTES DE BARRA

NBS	NOMBRE	A(I)REAL	B(I)IMAGINARIA	P	Q
1	ORIENTE 69 KV	-0.00000	0.00000	-0.00000	0.00000
2	ORIENTE 13.8 KV	-0.04343	0.03038	-0.04613	-0.02816
3	LLIGUA 13.8 KV	-0.01545	0.01236	-0.01690	-0.01130
4	LLIGUA 4.16 KV	0.01744	-0.01471	0.01800	0.01400
5	PENINSULA 6.9 KV	0.01796	-0.01719	0.01900	0.00000
6	LORETO 6.9 KV *	-0.00000	-0.00000	-0.00000	0.00000
7	LORETO 6.9 KV *	-0.00000	-0.00000	-0.00000	0.00000
8	LORETO 4.16 KV	0.03775	0.02322	-0.03811	-0.01355
9	BATAN 4.16 KV	-0.03177	0.00864	-0.03160	-0.00500
10	MIRAFLORES 2.4KV	0.00969	-0.01557	0.01100	0.01433
11	BATAN 13.8 KV	-0.00025	0.00034	-0.00027	-0.00031
12	LORETO	-0.00441	0.00213	-0.00439	-0.00181

RESULTADOS DE VOLTAJE

NBS	NOMBRE	E(P)	F(P)	MOD(P)	ANG(P)
1	ORIENTE 69 KV	0.99793	-0.00226	0.99793	-0.12993
2	ORIENTE 13.8 KV	0.99281	-0.04824	0.98400	-2.80984
3	LLIGUA 13.8 KV	0.98553	-0.05432	0.98802	-3.15162
4	LLIGUA 4.16 KV	0.99388	-0.03968	0.99967	-2.27458
5	PENINSULA 3.9 KV	0.99360	-0.06078	1.00144	-3.47947
6	LORETO 6.9 KV	0.96297	-0.07540	0.96592	-4.47732
7	LORETO 6.9 KV *	0.95297	-0.07540	0.96592	-4.47733
8	LORETO 4.16 KV	0.95157	-0.09401	0.95620	-5.64247
9	BATAN 4.16 KV	0.96600	-0.10518	0.97171	-6.21399
10	MIRAFLORES 2.4KV	0.98052	-0.09613	0.98522	-5.59959
11	BATAN 13.8 KV	0.95976	-0.07275	0.96252	-4.33464
12	LORETO	0.95837	-0.05757	0.97008	-3.40242

FLUJO DE POTENCIAS Y PERDIDAS

NP	NQ	P(PQ)	PPER	Q(PQ)	QPER
1	2	0.09086	0.00000	0.02954	0.00464
2	1	-0.09086	0.00000	-0.02501	0.00464
1	13	0.09086	0.00012	-0.02960	0.00093
13	1	-0.09086	0.00012	0.02867	0.00093
3	2	0.00096	0.00004	-0.00704	0.00003
2	3	-0.00096	0.00004	0.00707	0.00003
12	2	0.04373	0.00058	-0.00339	0.00050
2	12	-0.04373	0.00058	0.00339	0.00050
3	4	0.01000	0.00000	-0.01356	0.00044
4	3	-0.01000	0.00000	0.01400	0.00044
5	3	0.00206	0.00000	-0.00481	0.00008
3	5	-0.00206	0.00000	0.00489	0.00008
6	5	0.01053	0.00028	-0.00560	0.00038
5	6	-0.01053	0.00028	0.00523	0.00038
7	5	0.01053	0.00028	-0.00560	0.00038
5	7	-0.01053	0.00028	0.00523	0.00038
8	5	0.01025	0.00000	-0.00523	0.00000
5	8	-0.01025	0.00000	0.00523	0.00000

GA  
GA  
GA

GA  
GA  
GA



\*\*\*\*\*  
 EL PROGRAMA REALIZA UN NUEVO FLUJO DE CARGA  
 POR VARIACION DE LA CONFIGURACION DEL SISTEMA  
 \*\*\*\*\*

SALE EL ELEMENTO LORETO 6.9 KV \*\*\* LORETO 4.16 KV DEL SISTEMA

NUMERACION FINAL DE BARRAS

1	ORIENTE	69 KV
2	ORIENTE	13.8 KV
3	LLIGUA	13.8 KV
4	LLIGUA	4.16 KV
5	PENINSULA	6.9 KV
6	LORETO	6.9 KV
7	LORETO	6.9 KV *
8	LORETO	4.16 KV
9	BATAN	4.16 KV
10	MIRAFLORES	2.4KV
11	BATAN	13.8 KV
12	LORETO	
13	SISTEMA NACIONAL	

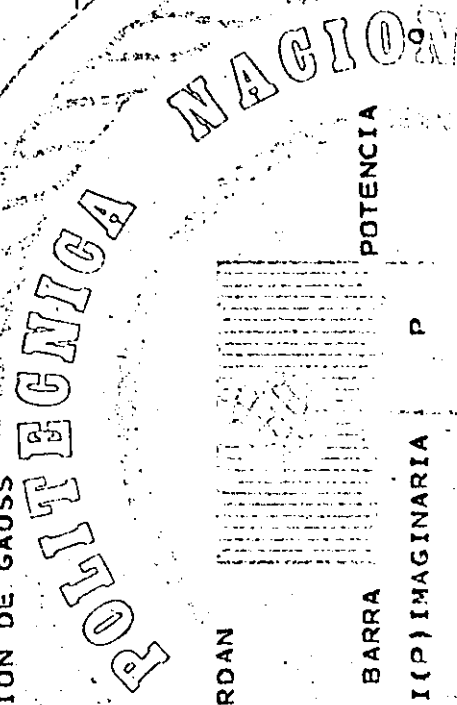
SOLUCION UTILIZANDO ELIMINACION DE GAUSS

A RESOLUCION REBASA EL NUMERO DE ITERACIONES

SOLUCION UTILIZANDO GAUSS JORDAN

CORRIENTES DE BARRA

NBS	NOMBRE	AI(P)REAL	BI(P)IMAGINARIA	P	POTENCIA
1	ORIENTE 69 KV	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	ORIENTE 13.8 KV	-0.04462	0.03053	-0.04532	-0.02783
3	LLIGUA 13.8 KV	-0.01638	0.01229	-0.01690	-0.01130
4	LLIGUA 4.16 KV	0.01736	-0.01463	0.01800	0.01400
5	PENINSULA 6.9 KV	0.01797	-0.01674	0.01900	0.01699
6	LORETO 6.9 KV	0.00000	-0.00000	0.00000	0.00000
7	LORETO 6.9 KV *	0.00000	-0.00000	0.00000	0.00000
8	LORETO 4.16 KV	-0.03788	0.02354	-0.03805	-0.01841
9	BATAN 4.16 KV	-0.03187	0.00876	-0.03160	-0.00500
10	MIRAFLORES 2.4KV	0.00968	-0.01555	0.01100	0.01433
11	BATAN 13.8 KV	0.00024	0.00009	0.00022	-0.00010
12	LORETO	-0.00569	0.00258	-0.00564	-0.00216



QUITO

RESULTADOS DE VOLTAJE

NBS	NOMBRE	E(P)	F(P)	MOD(P)	ANG(P)
1	ORIENTE 69 KV	0.99790	-0.02226	0.99790	0.12970
2	ORIENTE 13.8 KV	0.98241	-0.04834	0.93359	-2.81721
3	LLIGUA 13.8 KV	0.99137	-0.05369	0.99282	-3.09993
4	LLIGUA 4.15 KV	1.00365	-0.03910	1.00441	-2.23124
5	PENINSULA 6.9 KV	1.01278	-0.04792	1.01391	-2.70910
6	LORETO 6.9 KV *	1.01278	-0.04792	1.01391	-2.70908
7	LORETO 6.9 KV *	0.95755	-0.07231	0.96028	-4.31820
8	LORETO 4.15 KV	0.94113	-0.10140	0.94658	-6.14951
9	BATAN 4.15 KV	0.96195	-0.10768	0.96795	-6.38725
10	MIRAFLORES 2.4KV	0.97655	-0.09865	0.98152	-5.76813
11	BATAN 13.8 KV	0.95627	-0.07341	0.95909	-4.38980
12	LORETO	0.95532	-0.05785	0.96706	-3.42927

FLUJO DE POTENCIAS Y PERDIDAS

NP	NO	P(PQ)	PPER	Q(PQ)	QPER
1	2	0.09108	0.00000	0.03040	0.00468
2	1	-0.09108	0.00000	-0.02572	0.00468
3	13	-0.09108	0.00012	-0.03037	-0.00093
13	1	0.09120	0.00012	0.02944	-0.00093
3	3	-0.00351	0.00003	-0.00979	0.00007
3	2	0.00359	0.00003	0.00986	0.00007
2	12	0.04928	0.00075	0.00768	0.00065
12	2	-0.04853	0.00075	-0.00703	0.00065
3	4	-0.01800	0.00000	-0.01357	0.00043
4	3	0.01800	0.00000	0.01400	0.00043





**ACIONAL**

SOLUCION UTILIZANDO ELIMINACION DE GAUSS

**ADSE**

CORRIENTES DE BARRA

NBS	NOMBRE	AI(P)REAL	BI(P)IMAGINARIA	P	POTENCIA
1	ORIENTE 69 KV	-0.00000	0.00000	-0.00000	0.00000
2	ORIENTE 13.8 KV	-0.04447	0.02996	-0.04514	-0.02728
3	LLIGUA 13.8 KV	-0.01638	0.01229	-0.01690	-0.01130
4	LLIGUA 4.16 KV	0.01736	-0.01463	0.01800	0.01400
5	PENINSULA 6.9 KV	0.01796	-0.01674	0.01900	0.01609
6	LORETO 6.9 KV	0.00000	-0.00000	0.00000	0.00000
7	LORETO 6.9 KV *	0.00000	-0.00000	0.00000	0.00000
8	LORETO 4.16 KV	-0.03793	0.02355	-0.03810	-0.01831
9	BATAN 4.16 KV	-0.03187	0.00877	-0.03160	-0.00500
10	MIRAFLORES 2.4KV	0.00968	-0.01565	0.01100	0.01433
11	BATAN 13.8 KV	0.00014	-0.00020	0.00015	0.00018
12	LORETO	0.00582	0.00333	-0.00581	-0.00238

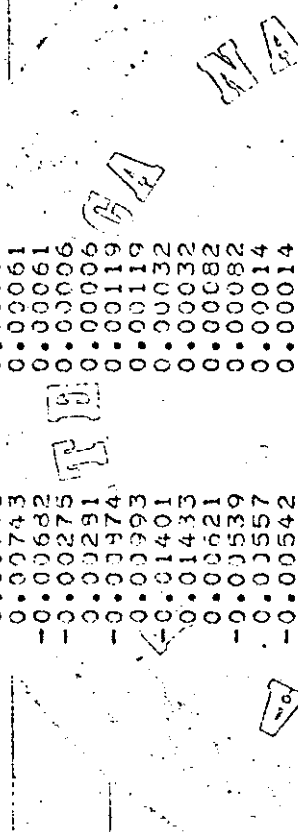
RESULTADOS DE VOLTAJE

NBS	NOMBRE	E(P)	F(P)	MOD(P)	ANG(P)
1	ORIENTE 69 KV	0.99791	-0.00227	0.99791	-0.13006
2	ORIENTE 13.8 KV	0.98250	-0.04841	0.98370	-2.82083
3	LLIGUA 13.8 KV	0.99146	-0.05377	0.99291	-3.10406
4	LLIGUA 4.16 KV	1.00374	-0.03918	1.00451	-2.23553
5	PENINSULA 6.9 KV	1.01288	-0.04903	1.01402	-2.71478
6	LORETO 6.9 KV	1.01288	-0.04303	1.01402	-2.71479
7	LORETO 6.9 KV *	0.95765	-0.07243	0.96038	-4.32549
8	LORETO 4.16 KV	0.94123	-0.10154	0.94669	-6.15742

9	BATAN 4.16 KV	0.96199	-0.10798	0.96802	-6.39833
10	MIRAFLORES 2.4KV	0.97600	-0.09884	0.98159	-5.77929
11	BATAN 13.8 KV	0.95532	-0.07362	0.95915	-4.40206
12	LCRETO	0.96525	-0.05787	0.96698	-3.43083

FLUJO DE POTENCIAS Y PERDIDAS

NP	NO	P (PG)	PPER	Q (PQ)	CPER
1	2	0.09120	0.00000	0.03021	0.00468
2	1	-0.09120	0.00000	-0.02553	0.00468
1	13	-0.09120	0.00012	-0.03017	-0.00093
13	1	0.09132	0.00012	0.02924	-0.00093
2	3	-0.00350	0.00008	-0.00979	0.00007
3	2	0.00358	0.00008	0.00987	0.00007
2	12	0.04956	0.00076	0.00304	0.00066
12	2	-0.04830	0.00076	-0.00739	0.00066
3	4	-0.01800	0.00000	-0.01357	0.00043
4	3	0.01800	0.00000	0.01400	0.00043
3	5	-0.00248	0.00000	-0.00760	0.00018
5	3	0.00248	0.00000	0.00778	0.00018
5	6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
6	5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	7	0.01652	0.00066	0.00931	0.00088
7	5	-0.01586	0.00066	-0.00743	0.00088
7	8	-0.01586	0.00000	-0.00743	0.00061
8	7	0.01586	0.00000	0.00682	0.00061
8	9	-0.00130	0.00004	-0.00275	0.00006
9	8	0.00134	0.00004	0.00291	0.00006
8	12	-0.02034	0.00000	-0.00974	0.00119
12	8	0.02094	0.00000	0.00993	0.00119
9	10	-0.01100	0.00000	-0.01401	0.00032
10	9	0.01100	0.00000	0.01433	0.00032
9	11	-0.02194	0.00000	-0.00621	0.00082
11	9	0.02194	0.00000	0.00539	0.00082
11	12	-0.02179	0.00027	-0.00557	0.00014
12	11	0.02206	0.00027	-0.00542	0.00014



ACIONAL

TEADSA

POTENCIA EN LA BARRA FLOTANTE

P= 0.09132 Q= 0.02924

POTENCIA TOTAL DE CARGA PCT= 0.15249  
 POTENCIA TOTAL DE GENERACION PGT= 0.15432  
 POTENCIA TOTAL DE PERDIDAS PPRT= 0.00192

QCT= 0.08180  
 QGT= 0.09066  
 QPERT= 0.00886

SOLUCION UTILIZANDO COORDENADAS POLARES

NUMERO DE ITERACIONES = 5

#### 4.1.3. APLICACION DE LOS PROGRAMAS AL SISTEMA GUAYAQUIL.

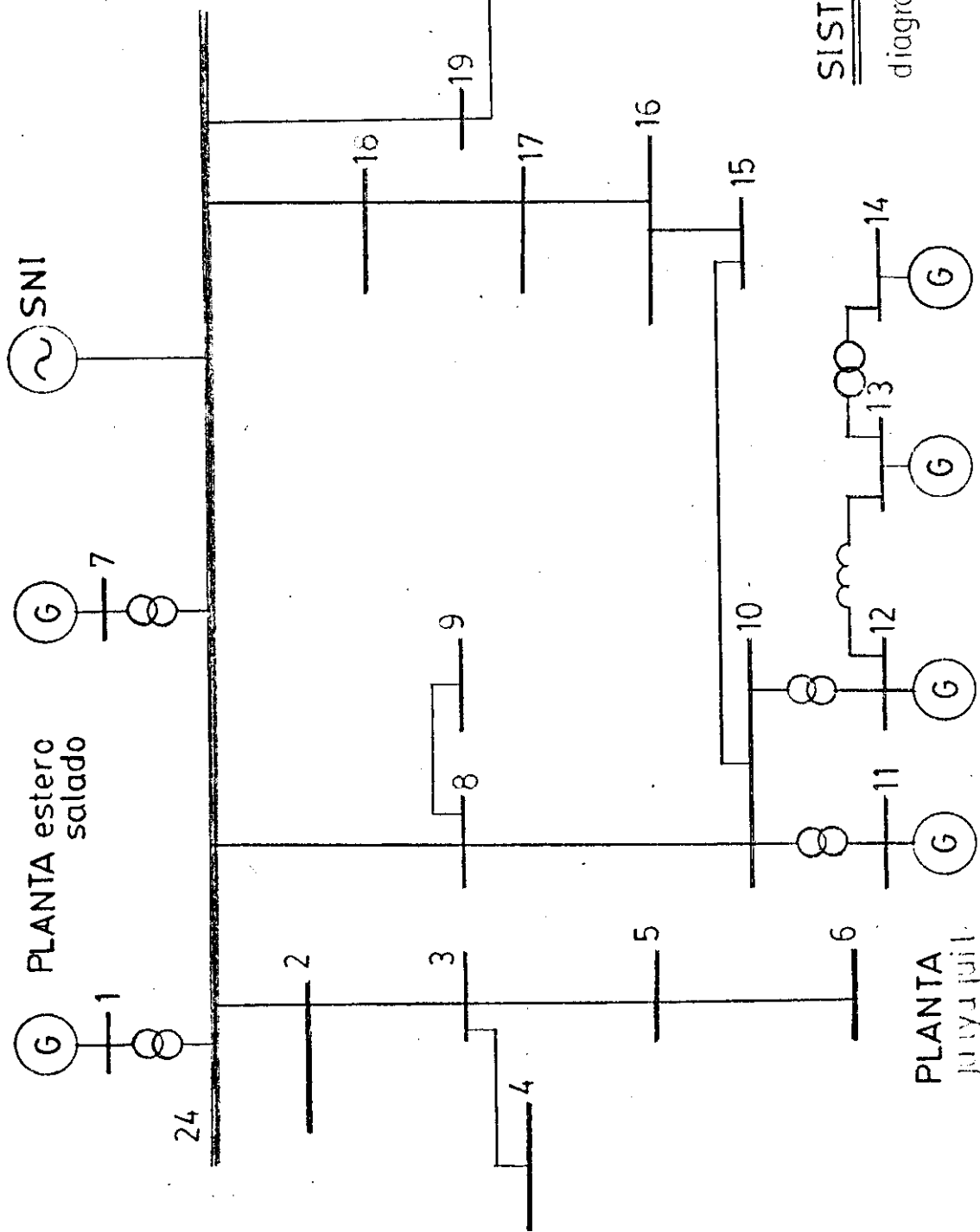
El diagrama del Sistema Guayaquil se adjunta en la pá  
gina siguiente.

Cabe señalar que los programas de computación fueron aplicados a este sistema y que la ecuación (2.10) o (2.11) fue resuelta por el método de factorización L.U. en vista de la mayor confiabilidad que presenta este método sobre los señalados anteriormente.

Los resultados fueron obtenidos únicamente en coordena  
das polares y se presentan en las pá  
ginas siguientes, la so  
lución en coordenadas retangulares no fue posible obtener debido a la característica del Sistema, ya que en el proce  
so de cálculo generó una división por una cantidad muy cer  
cana a cero.

Los resultados que se presentan serán igual a los pre  
sentados en el Sistema Ambato.

- 2 la torre
- 3 tap esmeraldas
- 4 esmeraldas
- 5 molinera
- 6 guasmo
- 8 tap garay
- 9 garay
- 10 guayaquil
- 15 mascote
- 16 américa
- 17 policentro
- 18 los ceibos
- 19 daule
- 20 tap mapasingue
- 21 fisa
- 22 sauce
- 23 pascuales



SISTEMA GUAYAQUIL

diagrama 3

SISTEMA GUAYAQUIL  
\*\*\*\*\*

DATOS GENERALES

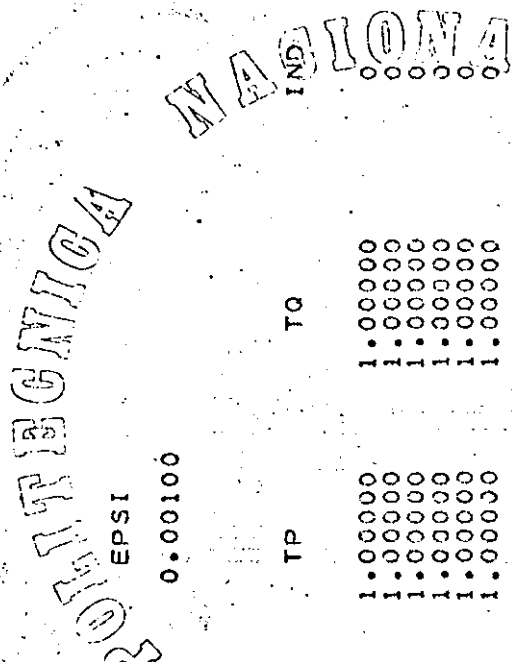
NB 24 24 18 6 0 0.00100  
 NT 6  
 NBTCS EPSI 0

ADMITANCIA DEL TRANSFORMADOR

ELEM	NP	NQ	G	B	TP	TO	IND
1	24	24	0.00000	-2.95000	1.00000	1.00000	0.00000
2	7	24	0.00000	-2.95000	1.00000	1.00000	0.00000
3	10	11	0.00000	-1.71500	1.00000	1.00000	0.00000
4	10	12	0.00000	-2.08000	1.00000	1.00000	0.00000
5	12	13	0.00000	-2.41000	1.00000	1.00000	0.00000
6	13	14	0.00000	-0.88000	1.00000	1.00000	0.00000

ADMITANCIA PRIMITIVA

ELEM	NP	NQ	G	B	GP	RP	GG	RQ	IND
7	24	2	10.86200	-24.62000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
8	2	3	5.88400	-17.09499	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
9	3	4	30.47699	-39.63799	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
10	3	5	15.84500	-32.20399	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
11	5	6	8.34300	-11.67800	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
12	24	8	5.46700	-12.56900	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
13	8	9	18.01799	-58.55899	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
14	8	10	14.86700	-33.91399	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
15	10	15	9.81400	-22.14099	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
16	15	16	55.80099	-126.98900	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
17	16	17	20.66699	-47.50699	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
18	17	18	11.88200	-27.42599	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
19	18	24	6.24900	-19.50209	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
20	24	19	6.24900	-19.50209	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
21	19	20	13.11200	-40.60999	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
22	20	21	4.40700	-13.76400	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
23	21	22	8.13000	-25.53300	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
24	21	23	4.56900	-14.27500	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000



DATOS DE POTENCIA Y VOLTAJE EN LAS BARRAS

NBI	NBS	NOMBRE	PG	QG	PC	QC	E	F	IND
1	1	ESTERO SALADO 1	1.05000	0.30000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	1	LA TORRE	0.00000	0.00000	0.20000	0.03000	1.00000	0.00000	0
1	1	TAP.ESMERALDAS	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	1	ESMERALDAS	0.00000	0.00000	0.27500	0.09000	1.00000	0.00000	0
1	1	MOLINERA	0.00000	0.00000	0.06000	0.02000	1.00000	0.00000	0
1	1	GUASMÚ	0.00000	0.00000	0.14000	0.05000	1.00000	0.00000	0
1	1	ESTERJ SALADO 2	0.33000	0.15450	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	1	TAP. GARAY	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	1	GARAY	0.00000	0.00000	0.27500	0.09000	1.00000	0.00000	0
1	1	GUAYAGUIL	0.00000	0.00000	0.33000	0.06000	1.00000	0.00000	0
1	1	GUAYAGUIL 1	0.10000	0.04000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	1	GUAYAGUIL 2	0.10000	0.06100	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	1	GUAYAGUIL 3	0.15000	0.07500	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	1	GUAYAGUIL 4	0.05000	0.01000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	1	MASCOTE	0.00000	0.00000	0.31000	0.10000	1.00000	0.00000	0
1	1	AMERICA	0.00000	0.00000	0.12000	0.05500	1.00000	0.00000	0
1	1	POLICENTRO	0.00000	0.00000	0.02000	0.00600	1.00000	0.00000	0
1	1	LOS CEIBOS	0.00000	0.00000	0.29500	0.09000	1.00000	0.00000	0
1	1	DAULE	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	1	TAP MAPASINGUE	0.00000	0.00000	0.15000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	1	FISA	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	1	SAUCE	0.00000	0.00000	0.15500	0.00000	1.00000	0.00000	0
1	1	PASCUALES	0.00000	0.00000	0.14000	0.05600	1.00000	0.00000	0

DATOS DE LA BARRA FLOTANTE

NBI	NBS	NOMBRE	PG	QG	PC	QC	E(NB)	F(NB)	IND
2	24	SISTEMA NACIONAL	0.23000	0.07000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0

SOLUCION UTILIZANDO COORDENADAS POLARES.

Handwritten notes and signatures, including a large '0' and some illegible text.

TAL

SOLUCION UTILIZANDO FACTORIZACION LU

CORRIENTES DE BARRA POTENCIA

NBS	NOMBRE	AI(P)REAL	BI(P)IMAGINARIA	P	POTENCIA
1	ESTERO SALADO 1	1.04999	0.07563	1.04999	0.30003
2	LA TORRE	-0.20296	0.03470	-0.20000	-0.03000
3	TAP.ESMERALDAS	0.00002	0.00000	0.00002	-0.00000
4	ESMERALDAS	-0.28117	0.10656	-0.27502	-0.09000
5	MOLINERA	-0.06145	0.02330	-0.06001	-0.01998
6	GUASMO	-0.14416	0.06035	-0.14000	-0.05000
7	ESTERO SALADO 2	0.00000	-0.11323	0.00000	0.15450
8	TAP. GARAY	0.00002	0.00002	0.00001	-0.00002
9	GARAY	-0.27366	-0.10002	-0.27501	-0.00000
10	GUAYAQUIL	-0.33552	0.07060	-0.33000	-0.05003
11	GUAYAQUIL 1	0.10125	-0.03677	0.10000	0.04000
12	GUAYAQUIL 2	0.10360	-0.04772	0.10000	0.06100
13	GUAYAQUIL 3	0.15297	-0.04250	0.15000	0.07500
14	GUAYAQUIL 4	0.04780	0.00219	0.05000	0.01000
15	MASCOTE	-0.31516	0.11371	-0.31000	-0.10001
16	AMERICA	-0.12138	0.05064	-0.11998	-0.05500
17	POLICENTRO	-0.02031	0.00677	-0.02001	-0.00602
18	LOS CEIBOS	-0.29304	0.09851	-0.29501	-0.07000
19	DAULE	0.00001	0.00000	0.00001	-0.00000
20	TAP MAPASINGUE	-0.15184	0.08624	-0.15000	-0.00000
21	FISA	0.00000	-0.00001	0.00000	0.00001



		RESULTADOS DE VOLTAJE			
NBS	NOMBRE	E(P)	F(P)	MOD(P)	ANG(P)
22	SAUCE PASCUALES	-0.15860	0.08657	-0.15500	-0.07500
23		-0.14378	0.07092	-0.14000	-0.06000
1	ESTERO SALADO 1	0.97436	0.35593	1.03734	20.06689
2	LA TORRE	0.93199	-0.02006	0.99219	-1.17041
3	TAP.ESMERALDAS	0.96324	-0.04208	0.96416	-2.50134
4	ESMERALDAS	0.95122	-0.04453	0.96225	-2.65227
5	MOLINERA	0.95300	-0.04618	0.95971	-2.75810
6	GUASMO	0.94933	-0.05190	0.95075	-3.12934
7	ESTERO SALADO 2	1.03338	0.11186	1.04439	6.14870
8	TAP. GARAY	0.97336	-0.02385	0.98015	-1.39403
9	GARAY	0.97596	-0.02771	0.97736	-1.62479
10	GUAYAQUIL	0.97739	-0.02596	0.97826	-1.57334
11	GUAYAQUIL 1	0.99933	0.03218	0.99984	1.84434
12	GUAYAQUIL 2	1.02005	0.11891	1.02696	6.64905
13	GUAYAQUIL 3	1.03678	0.20222	1.05532	11.03650
14	GUAYAQUIL-4	1.03430	0.25653	1.05564	13.92980
15	MASCOTE	0.97164	-0.03324	0.97221	-1.95924
16	AMERICA	0.97221	-0.03259	0.97275	-1.32012
17	POLICENTRO	0.97574	-0.02918	0.97618	-1.71290
18	LOS CEIBOS	0.98234	-0.02272	0.98260	-1.32494
19	DAULE	0.97191	-0.01749	0.98206	-1.02041
20	TAP MAPASINGUE	0.97320	-0.02586	0.97355	-1.52231
21	FISA	0.95645	-0.04247	0.95739	-2.54230
22	SAUCE PASCUALES	0.95156	-0.04711	0.95273	-2.82429
23		0.94902	-0.05015	0.95034	-3.02504

FLUJO DE POTENCIAS Y PERDIDAS

ESCALA

NP	NQ	P(PQ)	PPER	Q(PQ)	QPER
1	24	1.04999	0.00000	0.30003	0.37566
24	1	-1.04999	0.00000	0.07563	0.37566
2	3	0.49174	0.00492	0.17773	0.01430
3	2	-0.47682	0.00492	-0.16343	0.01430
24	24	-0.63171	0.00790	-0.20771	0.01790
2	2	0.63961	0.00790	0.22561	0.01790
3	4	0.27531	0.00332	0.09090	0.00993
4	3	-0.27499	0.00332	-0.08997	0.00993
3	5	0.20157	0.00661	0.07257	0.01255
5	3	-0.20096	0.00661	-0.07132	0.01255
5	6	0.14039	0.00699	0.05139	0.00139
6	5	-0.14000	0.00699	-0.05000	0.00139
7	24	0.33000	0.00000	0.15450	0.04127
24	7	-0.33000	0.00000	-0.11323	0.04127
8	9	0.27543	0.00043	0.09136	0.00139
9	8	-0.27500	0.00043	-0.08997	0.00139
8	10	0.12919	0.00019	0.01918	0.00045
10	8	-0.12900	0.00019	-0.01973	0.00045
24	24	-0.40448	0.00533	-0.11051	0.01225
24	8	0.40381	0.00533	0.12275	0.01225
10	11	-0.10000	0.00000	-0.03323	0.00677
11	10	0.10000	0.00000	0.04000	0.00677
10	12	-0.30000	0.00000	-0.07792	0.04908
12	10	0.30000	0.00000	0.12600	0.04908
10	15	0.19816	0.00077	0.06392	0.00177
15	10	-0.19816	0.00077	-0.06314	0.00177
12	13	-0.20000	0.00000	-0.06500	0.01740
13	12	0.20000	0.00000	0.08240	0.01740
13	14	-0.05000	0.00000	-0.00740	0.00250
14	13	0.05000	0.00000	0.01000	0.00250
15	16	-0.11132	0.00006	-0.03181	0.00014
16	15	0.11138	0.00006	0.03196	0.00014
16	17	-0.23134	0.00050	-0.08691	0.00116
17	16	0.23235	0.00050	0.08307	0.00116
17	18	-0.25231	0.00101	-0.09406	0.00234

18	17	0.25333	0.00101	0.09640	0.00234
18	24	-0.54832	0.00518	-0.18538	0.01615
24	18	0.55350	0.00518	0.20253	0.01615
19	20	0.45024	0.00192	0.23129	0.00593
20	19	-0.44833	0.00192	-0.22536	0.00593

19	24	-0.45021	0.00396	-0.23126	0.01235
24	19	0.45416	0.00396	0.24361	0.01235
20	21	0.29834	0.00245	0.14539	0.00756
21	20	-0.29538	0.00245	-0.13773	0.00756
21	22	0.15337	0.00037	0.07614	0.00117
22	21	-0.15500	0.00037	-0.07498	0.00117
21	23	0.14053	0.00053	0.06163	0.00154
23	21	-0.14000	0.00053	-0.06000	0.00154

POTENCIA EN LA BARRA FLUTANTE

P= 0.95709 Q= 0.82690

POTENCIA TOTAL DE CARGA	PGI=	2.70000	QCT=	0.87500
POTENCIA TOTAL DE GENERACION	PGT=	2.73709	QGI=	1.46740
POTENCIA TOTAL DE PERDIDAS	PPERT=	0.03709	QPRT=	0.59140

SOLUCION UTILIZANDO COORDENADAS POLARES

NUMERO DE ITERACIONES = 3

4.2 COMPARACION DE RESULTADOS EN LOS DOS SISTEMAS DE COORDENADAS.

SISTEMA STAGG.

	<u>RECTANGULARES</u>	<u>POLARES</u>
Sistema resuelto por:	GAUSS	GAUSS
Nº de iteraciones :	2	2

VOLTAJE EN LAS BARRAS EN p.u.

<u>BARRA</u>	<u>RECTANGULARES</u>	<u>POLARES</u>
1	1.01229 - j 0.10909	1.01217 - j 0.10913
2	1.04630 - j 0.05129	1.04626 - j 0.05130
3	1.02043 - j 0.08921	1.02036 - j 0.08924
4	1.01930 - j 0.09507	1.01922 - j 0.09511

Potencia en la barra slack:

Rectangulares: 1.29508 - j 0.07678

Polares : 1.29574 - j 0.07595

Potencia total de pérdidas del sistema:

Rectangulares: 0.04508 - j 0.17678

Polares : 0.04575 - j 0.17591

Máxima diferencia en la parte real del voltaje 0.00008

Máxima diferencia en la parte imaginaria del voltaje 0.00004.

Máxima diferencia de potencia en la barra slack es:

0.00066 en potencia activa y 0.00083 en potencia reactiva.

Máxima diferencia en potencia total de pérdidas:

0.00067 en potencia activa y 0.00087 en potencia reactiva.

SISTEMA STAGG SIN BARRA 1 0 BARRA AA.

	<u>RECTANGULARES</u>	<u>POLARES</u>
Sistema resuelto por:	GAUSS	GAUSS
Nº de iteraciones :	2	2

VOLTAJE EN LAS BARRAS EN p.u.

<u>BARRA</u>	<u>RECTANGULARES</u>	<u>POLARES</u>
DE GEN.	1.06080 - j 0.02359	1.06080 - j 0.02360
CARGA BB	1.03262 - j 0.06563	1.03260 - j 0.06566
CARGA CC	1.03224 - j 0.06915	1.03222 - j 0.06918

Potencia en la barra slack:

Rectangulares:	0.66803 - j 0.17769
Polares :	0.66822 - j 0.17768

Potencia total de pérdidas del sistema:

Rectangulares:	0.01803 - j 0.17769
Polares :	0.01823 - j 0.17760

Máxima diferencia de voltaje: en la parte real 0.00002 en la parte imaginaria 0.00003.

Máxima diferencia de potencia en la barra slack:

En potencia activa 0.00019 y 0.00001 en potencia reactiva.

Máxima diferencia de potencia total de pérdidas:

en potencia activa 0.00020 y 0.00009 en reactiva.

Cabe señalar que tanto el Sistema Stagg completo como el retirado una barra, fueron ejecutados en una sola corrida y a pesar que el programa en coordenadas polares demora 2.79 seg. más en compilarse utiliza solo 0.42 seg. más en tiempo de ejecución para hallar las soluciones que el programa en rectangulares. Los programas fueron corridos utilizando el compilador EPNFIV del computador de la E.P.N.

SISTEMA AMBATO.

	<u>RECTANGULARES</u>	<u>POLARES</u>
Sistema resuelto por:	GAUSS	GAUSS-JORDAN
Nº de iteraciones :	2	5

VOLTAJE EN LAS BARRAS EN p.u.

<u>BARRA</u>	<u>RECTANGULARES</u>	<u>POLARES</u>
Oriente 69 KV	0.99795 - j 0.00228	0.99793 - j 0.00226
Oriente 13.8 KV	0.98285 - j 0.04837	0.98281 - j 0.04824
Lligua 13.8 KV	0.98696 - j 0.05436	0.98653 - j 0.05432
Lligua 4.16 KV	0.99912 - j 0.03961	0.99888 - j 0.03968
Península 6.9 KV	1.00026 - j 0.06068	0.99960 - j 0.06078
Loreto 6.9 KV	0.96367 - j 0.07539	0.96297 - j 0.07540

<u>BARRA</u>	<u>RECTANGULARES</u>	<u>POLARES</u>
Loreto 6.9 KV <sup>+</sup>	0.96367 - j 0.07539	0.96297 - j 0.07540
Loreto 4.16 KV	0.95229 - j 0.09400	0.95157 - j 0.09401
Batán 4.16 KV	0.96690 - j 0.10556	0.96600 - j 0.10518
Miraflores 2.4 KV	0.98162 - j 0.09653	0.98052 - j 0.09613
Batán 13.8 KV	0.96035 - j 0.07324	0.95976 - j 0.07275
Loreto	0.96844 - j 0.05799	0.96837 - j 0.05757

Potencia en la barra slack:

Rectangulares : 0.09124 + j 0.02796

Polares : 0.09098 + j 0.02867

Potencia total de pérdidas del sistema:

Rectangulares: 0.00184 + j 0.00758

Polares : 0.00158 + j 0.00829

Máxima diferencia de voltaje: en la parte real 0.00110 y 0.00049  
en la parte imaginaria.

Máxima diferencia de potencia en la barra slack:

0.00026 en potencia activa y 0.00071 en potencia reactiva.

Máxima diferencia en potencia total de pérdidas:

0.00026 en potencia activa y 0.00071 en potencia reactiva.

SISTEMA AMBATO MENOS 1 ELEMENTO.

	<u>RECTANGULARES</u>	<u>POLARES</u>
Sistema resuelto por:	GAUSS-JORDAN	GAUSS
N <sup>2</sup> de iteraciones :	6	5

VOLTAJE DE BARRAS EN p.u.

<u>BARRA</u>	<u>RECTANGULARES</u>	<u>POLARES</u>
Oriente 69 KV	0.99790 - j 0.00226	0.99791 - j 0.00227
Oriente 13.8 KV	0.98241 - j 0.04834	0.98250 - j 0.04841
Lligua 13.8 KV	0.99137 - j 0.05369	0.99146 - j 0.05377
Lligua 4.16 KV	1.00365 - j 0.03910	1.00374 - j 0.03918
Península 6.9 KV	1.01278 - j 0.04792	1.01288 - j 0.04803
Loreto 6.9 KV	1.01278 - j 0.04792	1.01288 - j 0.04803
Loreto 6.9 KV <sup>+</sup>	0.95795 - j 0.07231	0.95765 - j 0.07243
Loreto 4.16 KV	0.94113 - j 0.10140	0.94123 - j 0.10154
Batán 4.16 KV	0.96195 - j 0.10768	0.96199 - j 0.10788
Miraflores 2.4 KV	0.97655 - j 0.09865	0.97660 - j 0.09884
Batán 13.8 KV	0.95627 - j 0.07341	0.95632 - j 0.07362
Loreto	0.96532 - j 0.05785	0.96525 - j 0.05787

Potencia en la barra slack:

Rectangulares : 0.09120 + j 0.02944

Polares : 0.09132 + j 0.02924

Potencia total de pérdidas en el sistema:

Rectangulares : 0.00180 + j 0.00906

Polares : 0.00192 + j 0.00886



Máxima diferencia de voltaje: en la parte real 0.00030 y 0.00021 en la parte imaginaria.

Máxima diferencia de potencia en la barra slack:  
0.00012 en potencia activa y 0.00020 en potencia reactiva.

Máxima diferencia en potencia total de pérdidas:  
0.00012 en potencia activa y 0.00020 en potencia reactiva.

Es importante recalcar que para el Sistema Ambato no se obtuvo solución utilizando eliminación de Gauss en coordenadas polares. Tampoco se obtuvo solución para el Sistema Ambato sin un elemento en coordenadas rectangulares utilizando eliminación de Gauss.

Para encontrar la solución a los dos sistemas eléctricos, el programa en coordenadas polares empleó el 105.02% del tiempo empleado por el otro programa. Las soluciones en los dos sistemas de coordenadas han presentado una mayor diferencia que para el Sistema Stagg debido a que las soluciones dadas han empleado diferente método de resolución de las ecuaciones (2.10) o (2.11).

#### SISTEMA GUAYAQUIL.

Debido a que no se obtuvo solución al sistema en coordenadas rectangulares no es posible establecer una comparación de resultados.

#### 4.3 COMPARACION DE RESULTADOS CON METODOS ITERATIVOS.

En vista que es necesario realizar una comparación de resultados con los de otros programas de flujos de carga se han elegido para realizar esta comparación programas desarrollados como tesis de grado en la E.P.N.

Se ha elegido para esta comparación el Sistema Stagg y el Sistema Guayaquil. Se debería comparar los resultados tanto con los dados por el programa que utiliza el método de Gauss-Seidel como con los dados por el programa que utiliza el método de Newton-Raphson, pero las restricciones de diseño dadas por los programas anteriores no permitan que se corran los mismos ejemplos, ya que el programa que utiliza el método de Gauss Seidel no opera sin barras de tensión controlada y en sistemas radiales; y el programa que utiliza Newton-Raphson no opera con barras de tensión controlada, razón por la cual se comparará con los resultados dados por el programa que utiliza el método de Newton-Raphson.

#### SISTEMA STAGG.

#### VOLTAJE EN LAS BARRAS EN p.u.

<u>BARRA</u>	<u>RECTANGULARES</u>	<u>POLARES</u>	<u>NEWTON-RAPHSON</u>
1	1.01229 - j 0.10909	1.01217 - j 0.10913	1.01217 - j 0.109
2	1.04630 - j 0.05129	1.04626 - j 0.05130	1.04626 - j 0.051
3	1.02043 - j 0.08921	1.02036 - j 0.08924	1.02036 - j 0.089

<u>BARRA</u>	<u>RECTANGULARES</u>	<u>POLARES</u>	<u>NEWTON-RAPHSON</u>
4	1.01930 - j 0.09507	1.01922 - j 0.09511	1.01922 - j 0.09511

Se puede ver que los resultados en coordenadas polares no tienen diferencia con los dados por el método de Newton, a pesar que utilizan diferentes métodos de solución de la ecuación (2.10). Los resultados comparados con la solución dada por el libro tienen una máxima diferencia de 0.00008.

Potencia en la barra slack:

Rectangulares :	1.29508	- j	0.07678
Polares :	1.29574	- j	0.07595
Newton-Raphson:	1.29575	- j	0.07594
Libro :	1.29500	- j	0.07500

La máxima diferencia de potencia en la barra slack es de 0.00083 entre la solución en coordenadas rectangulares con la solución por Newton-Raphson. El número de iteraciones requerido para encontrar la solución fue 2 en todos los programas.

SISTEMA GUAYAQUIL.

VOLTAJE EN LAS BARRAS EN p.u.

<u>BARRA</u>	<u>POLARES</u>	<u>NEWTON-RAPHSON</u>
Estero Salado 1	0.97436 + j 0.35593	0.97426 + j 0.35583
La Torre	0.98199 - j 0.02006	0.98198 - j 0.02000
Tap. Esmeraldas	0.96324 - j 0.04208	0.96323 - j 0.04210

<u>BARRA</u>	<u>POLARES</u>	<u>NEWTON-RAPHSON</u>
Esmeraldas	0.96122 - j 0.04453	0.96121 - j 0.04453
Molinera	0.95860 - j 0.04618	0.95860 - j 0.04620
Guasmo	0.94933 - j 0.05190	0.94932 - j 0.05190
Estero Salado 2	1.03838 + j 0.11186	1.03839 + j 0.11185
Tap. Garay	0.97986 - j 0.02385	0.97990 - j 0.02386
Garay	0.97696 - j 0.02771	0.97700 - j 0.02773
Guayaquil	0.97789 - j 0.02686	0.97794 - j 0.02688
Guayaquil 1	0.99933 + j 0.03218	0.99937 + j 0.03215
Guayaquil 2	1.02005 + j 0.11891	1.02052 + j 0.11887
Guayaquil 3	1.03678 + j 0.20222	1.03726 + j 0.20214
Guayaquil 4	1.03430 + j 0.25653	1.03478 + j 0.25643
Mascote	0.97164 - j 0.03324	0.97167 - j 0.03325
América	0.97221 - j 0.03259	0.97224 - j 0.03261
Policentro	0.97574 - j 0.02918	0.97577 - j 0.02919
Los Ceibos	0.98234 - j 0.02272	0.98235 - j 0.02273
Daule	0.98191 - j 0.01749	0.98190 - j 0.01749
Tap. Mapasín gue	0.97320 - j 0.02586	0.97320 - j 0.02586
Fisa	0.95645 - j 0.04247	0.95645 - j 0.04247
Sauce	0.95156 - j 0.04711	0.95156 - j 0.04711
Pascuales	0.94902 - j 0.05015	0.94902 - j 0.05015

La máxima diferencia que se da entre las dos soluciones es de 0.00010.

Los dos programas resuelven el sistema en tres iteraciones.

De acuerdo a las comparaciones realizadas se puede ver que los resultados son satisfactorios.

En lo que respecta a tiempo de computación en el cuadro 4.3.1 se presenta el tiempo de ejecución empleado por los programas para hallar la solución. Para esta comparación se corrió los programas utilizando el compilador FFORTRAN de la E.P.N.

Programa Sistema	Coordenadas Rectangulares	Coordenadas Polares	Newton- Raphson
Stagg	5.11 seg.	5.15 seg.	5.81 seg
Ambato	11.44 seg.	28.28 seg.	13.40 seg
Guayaquil	X	32.43 seg.	40.22 seg

Cuadro 4.3.1

Los programas desarrollados en esta tesis requieren menor tiempo de ejecución que el programa de comparación con excepción del programa de coordenadas polares aplicadas al sistema Ambato, ya que este no encontró la solución por eliminación de Gauss y tuvo que utilizar Gauss-Jordan para resolver el sistema, sumando se de esta forma los tiempos empleados por los dos métodos.

El espacio marcado con X señala que no se obtuvo la solución del sistema lo cual se explica en el numeral 4.2.

## C A P I T U L O   V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El presente trabajo ha recopilado las bases teóricas del estudio de flujos de carga expuesto en Tesis de Grado que tratan sobre este tema, y aplicado al estudio específico de flujos de potencia por el método de eliminación. De este estudio se pueden realizar las siguientes afirmaciones:

- El método de solución de las ecuaciones (2.10) ó (2.11) por eliminación de Gauss resulta inadecuado para Sistemas con un número de barras mayor a 12, debido a un consumo excesivo de tiempo de computación. El método de Gauss-Jordán es conveniente utilizarlo en sistemas de hasta 20 barras. El método de factorización L.U. es recomendable en sistemas de hasta 50 barras debido a que para sistemas más grandes su uso se hace prohibitivo por la gran cantidad de memoria que requiere.
- Cuando la eliminación gaussiana se realiza utilizando pivoteo natural o por filas, un ordenamiento ascendente de las barras es más eficiente que un ordenamiento descendente en función del número de elementos conectados a ellas.
- Un pivoteo natural requiere menor tiempo de computación que un pivoteo por filas en el proceso de eliminación. Esta diferen-

cia pequeña de tiempo no compensa la seguridad ofrecida por el segundo proceso de pivoteo contra errores de aproximación.

- Un pivoteo por columnas incrementa el número de iteraciones requeridas para encontrar la solución.
- Un pivoteo completo en el proceso de eliminación no justifica su utilización ya que incrementa en forma significativa el tiempo de computación y no da una protección bastante segura contra errores de aproximación que un pivoteo por filas.
- Cuando el proceso de eliminación se efectúa sin ordenamiento de barras utilizando pivoteo por filas, se ve que es más conveniente a una eliminación de pivoteo natural con ordenamiento de barras ya sea este ascendente o descendente.
- Una solución de las ecuaciones (2.10) ó (2.11) por el método de Gauss-Jordán presenta mejores perspectivas para hallar la solución al problema de flujos de carga, que la ofrecida por el método de eliminación de Gauss.
- Un ordenamiento natural de barras parece ser más conveniente - que un ordenamiento ascendente o descendente de las mismas en la solución del problema de flujos por Gauss-Jordán.
- El método de solución de ecuaciones L.U. se presenta como el más atractivo de los tres métodos para solucionar el problema

de flujos de carga. Este método requiere de menor número de iteraciones que los métodos anteriores para encontrar la solución al problema de flujos.

- Un ordenamiento descendente de las barras parece favorecer al método L.U. para encontrar la solución, en especial cuando se utiliza coordenadas polares.
- Cuando los Sistemas de Potencia contienen barras de tensión controlada los resultados utilizando coordenadas polares son muy exactos en cuanto al módulo de voltaje. Los resultados en coordenadas rectangulares son muy satisfactorios y el error relativo que se tiene en cuanto al módulo de voltaje es función del parámetro de convergencia de la solución al problema del flujo de carga. El error está siempre por debajo del valor del  $\epsilon$ .
- La solución para sistemas con barras de tensión controlada requiere de un mayor número de iteraciones para hallar la solución de sistemas que no contienen barras de tensión controlada.
- Cuando un sistema contiene barras de tensión controlada con módulos de voltaje diferente de 1 p.u. resulta más conveniente buscar la solución dando valores de tensión en estas barras de  $1.0 + j 0.0$  p.u. en la primera iteración. Esto ayuda a disminuir el número de iteraciones requeridas para hallar la solución del problema



- El determinar en que sistema de coordenadas es más conveniente plantear el problema de flujos de carga es inherente a cada Sistema de Potencia. Por ejemplo para el Sistema Ambato es más conveniente resolver el problema en coordenadas rectangulares; para el Sistema Guayaquil es más conveniente resolver en coordenadas polares.

Los programas desarrollados en este trabajo tienen limitaciones en cuanto a memoria debido al gran almacenamiento que requiere la matriz de coeficientes. Los requerimientos de memoria pueden ser disminuidos notablemente si se utilizan técnicas especiales de almacenamiento. Estas técnicas son conocidas como "bi-factorización", en las cuales se desarrollan algoritmos de computación y un ordenamiento óptimo a fin de obtener el más alto grado de potencia. Estas técnicas harían posible la resolución de grandes sistemas.

El presente trabajo podría servir, al igual que otros, para estudios de cargabilidad de líneas, contingencias del sistema eléctrico en estado estable, se podría implementar el empleo de transformadores con cambio automático de taps y defasadores de ángulos.

## A N E X O

### MANUAL DE USO DE LOS PROGRAMAS DE COMPUTACION

Este manual sirve para los dos programas descritos anteriormente.

#### I.- NOMENCLATURA

Se ha utilizado la siguiente notación:

##### 1. VARIABLES DE ENTRADA.

#### SIMBOLO

#### DESCRIPCION

B	Parte imaginaria de la admitancia de una línea, transformador, reactor o condensador serie en p.u.
BP	Parte imaginaria de la admitancia a tierra de un elemento del sistema en p.u. conectado al nodo p.
BQ	Parte imaginaria de la admitancia a tierra de un elemento del sistema en p.u. conectado al nodo q.
E	Parte real del voltaje de la barra oscilante (Se recomienda valores de 1. a 1.05).
F	Parte imaginaria del voltaje de la barra oscilante (Se recomienda el valor de 0.0).
G	Parte real de la admitancia de un elemento en p.u.
GP	Parte real de la admitancia a tierra de un elemento en p.u. conectado al nodo p.

<u>SIMBOLO</u>	<u>DESCRIPCION</u>
GQ	Parte real de la admitancia a tierra de un elemento en p.u. conectado al nodo q.
IND1	Indicador de salida de barras sus valores son:  Cero (0) cuando no hay salida de la barra.  Uno (1) cuando sale la barra.
IND2	Indicador de salida de elementos sus valores son:  Cero (0) cuando el elemento no sale.  Uno (1) cuando el elemento sale.
KNOMBR	Nombre del Sistema.
NB	Número total de barras.
NBI	Número de identificación del tipo de barra
	Barra slack 2
	Barra de carga 1
	Barra de tensión controlada 0
NBS	Número asignado a una barra del sistema.
NBTC	Número de barras de voltaje controlado.
NCONT	Indicador de salida de barras o elementos del sistema original, sus valores son:  Cero (0) cuando no hay cambios.  Uno (1) cuando hay salida de barras o elementos.
NE	Número total de elementos.
NELEM	Número asignado a un elemento.
NL	Número total de líneas, reactores y condensadores serie.

<u>SIMBOLO</u>	<u>DESCRIPCION</u>
NT	Número de transformadores.
NP	Nodo p al que está conectado un elemento.
NQ	Nodo q al que está conectado un elemento.
PG	Potencia activa de generación en las barras de carga y tensión controlada. Valores en p.u.
PC	Potencia activa de carga en las barras: oscilante, <u>ten</u> sión controlada y de carga en p.u.
QC	Potencia reactiva de carga en las barras de carga <u>osci</u> lante y tensión controlada en p.u.
QG	Potencia reactiva de generación en las barras de carga en p.u.
TP	Taps en el nodo p. Valores con referencia a la unidad esto es: si el tap está en + 5% el valor a darse será 1.05.
TQ	Taps en el nodo q. Un tap de -2.5% deberá darse como 0.975.

## 2. VARIABLES DE SALIDA.

Para dar los resultados se ha utilizado la siguiente nomenclatura:

AI	Parte real de las corrientes de barra en p.u.
----	---

ANG	Angulo del voltaje de barras dado en grados.
BI	Parte imaginaria de las corrientes de barra en p.u.
E	Parte real del voltaje en las barras en p.u.
F	Parte imaginaria del voltaje en las barras en p.u.
NBS	Número de la barra.
NOMBRE	Nombre de la barra.
NP	Nodo p al que está conectado un elemento.
NQ	Nodo q al que está conectado un elemento.
P	Potencia real en las barras en p.u.
PCT	Potencia total de carga activa en el sistema en p.u.
PGT	Potencia activa total de generación del sistema en p.u.
PPER	Potencia activa que se pierde en un elemento en p.u.
PPERT	Potencia activa total de pérdidas en el sistema en p.u.
PPQ	Potencia activa que fluye por un elemento desde el nodo p al nodo q.
Q	Potencia reactiva en las barras en p.u.
QCT	Potencia reactiva total de carga en el sistema en p.u.
QGT	Potencia reactiva total de generación del sistema en p.u.
QPER	Potencia reactiva que se pierde en un elemento.
QPERT	Potencia reactiva total de pérdidas del sistema en p.u.
QPQ	Potencia reactiva que fluye desde el nodo p al q en p.u.

## II. FORMA DE PROPORCIONAR LOS DATOS A LOS PROGRAMAS.

Los datos deben darse de la siguiente forma:

1. Los valores de admitancia de los elementos deben estar en p.u.
2. Los valores de potencia activa y reactiva, tanto de generación como de carga deben estar en p.u.
3. La barra oscilante se nominará a la última.

La forma como introducir los datos se encuentran en las hojas adjuntas (Ver esquemas y ejemplos).

## III. RESTRICCIONES.

Los programas tienen las siguientes restricciones de diseño:

- Máximo número de barra 40.
- Máximo número de elementos 80.
- Máximo número de barras de voltaje controlado 6.
- Máximo número de transformadores 50.

## IV. FORMA DE UTILIZAR LOS PROGRAMAS.

La secuencia de tarjetas de control para utilizar los programas grabados en disco se encuentran en el esquema N° 3.

EJEMPLOS:

- Sistema "Stagg El-Abiad".

Características:

Sistema en anillo  
Número de barras 5  
Número de elementos 7  
Número de líneas 7  
Barras de carga 4  
Criterio de convergencia EPSI = .001  
Datos en p.u.

- Sistema "IEEE"

Características:

Sistema en anillo  
Número de barras 5  
Número de elementos 5  
Número de líneas 5  
Barras de carga 2  
Barras de tensión controlada 2  
Base 100 MVA  
Datos en p.u.  
EPSI = .001

- Sistema "Ambato"

Características:

Sistema radial  
Número de barras 13  
Número de elementos 15  
Número de líneas 7  
Número de transformadores 8  
Barras de carga 12  
Base 100 MVA

Datos en p.u.

EPSI = .001

Los diagramas de los sistemas de ejemplo se encuentran en el numeral 4.1.1. el del Sistema Stagg; en el numeral 4.1.2. el del Sistema Ambato; y en la página siguiente el del Sistema IEEE.



SISTEMA IEEE

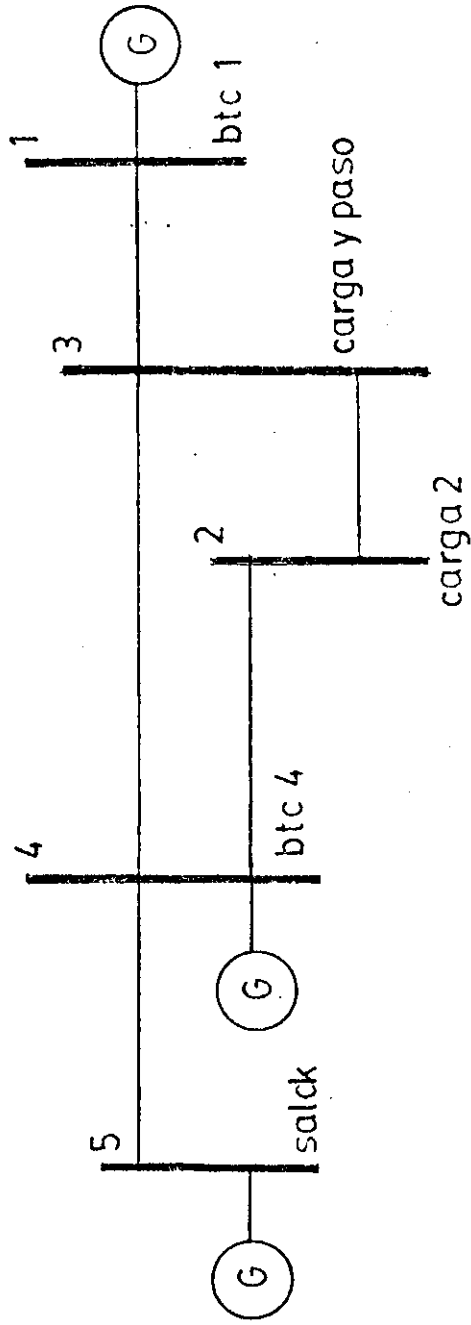


diagrama 4

NOMBRE DEL PROGRAMA FLUJOS DE CARGA POR ELIMINACIÓN No. 2  
Programador FBCJ Fecha 1  
III-83

ESQUEMA N° 1									
sistema sin barras de tensión controlada y sin cambios									
1. nombre del sistema-una tarjeta									
KNOMBR									
GUAYAQUIL									
2. datos generales-una tarjeta									
NB	NI	NT	NBIC	EPSI					
24	18	6	0	.001					
3. datos de transformadores-una tarjeta por transformador									
NELEM	NP	24	0	2.95	1	1	0	IND2	0
4. datos de líneas-una tarjeta por línea									
NELEM	NP	NO	6	5.884	17.09499	0	GP	80	IND2
5. datos de carga-una tarjeta por barra									
NB	NBS	NOMBRE	06	0	275	09	0	IND1	0
		IGARAY							
6. datos de barra slack-una tarjeta									
NBI	NBS	NOMBRE	PC	06	E	F	IND1	0	0
		24 SISTEMA NACIONAL	23	07	1.0	0			
7. indicador de cambios en el sistema-una tarjeta									
NCBA									
0									

NUMERO DEL PROGRAMA FLUJOS DE CARGA POR ELIMINACION Hoja No. 2 de 2  
 Programador FC Fecha: JUL 68

1	nombre del sistema igual a esquema 1	
2	datos generales	
3	modulos de barras de tension controlada una tarjeta	
4	datos de transformadores	igual a esquema 1
5	datos de lineas	" "
6	datos de barras carga y voltaje controlado	" "
7	datos de barra oscilante	" "
8	indicador de cambios del sistema una tarjeta	" "
9	indicador salida de barras una tarjeta (sale la barra 2 y 9)	
10	indicador salida de lineas una tarjeta (sale el elemento 4, 7 y 40)	
	indicador de cambios en el sistema una tarjeta	

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA Y COMPUTACIÓN

NOMBRE DEL LABORATORIO: **FLUJOS DE CARGA POR ELIMINACIÓN** III - 83  
Autor: **FC** No. 1 de 2

**ESQUEMA Nº 3**  
**TARJETAS DE CONTROL PARA UTILIZAR LOS PROGRAMAS CON DISCO**

PROGRAMA EN POLARIS  
CODIGO DE CUENTA  
// EXEC ELECFCPO  
DATOS  
//\*

PROGRAMA EN RECTANGULARES  
CODIGO DE CUENTA  
// EXEC ELECFCRE  
DATOS  
//\*

PROGRAMA EN CINTA DE ELECTRICIDAD  
CODIGO DE CUENTA  
// EXEC ELECFCPT  
DATOS  
//\*

**ESQUEMA Nº 4**  
**TARJETAS DE CONTROL PARA UTILIZAR LOS PROGRAMAS CON CINTA**

PROGRAMA EN POLARIS  
CODIGO DE CUENTA  
// EXEC ELECFCPO  
DATOS  
//\*

PROGRAMA EN RECTANGULARES  
CODIGO DE CUENTA  
// EXEC ELECFCRE  
DATOS  
//\*

PROGRAMA EN CINTA DE ELECTRICIDAD  
CODIGO DE CUENTA  
// EXEC ELECFCPT  
DATOS  
//\*











REFERENCIAS.

1. J.B. Ward, H.W. Hale, "DIGITAL COMPUTER SOLUTION OF POWER - FLOW PROBLEMS", AIEE Trans, vol 75, Pág. 398-404, June 1956.
2. A.F. Glimn, G.W. Stagg, "AUTOMATIC CALCULATION OF LOAD FLOWS", AIEE Trans, vol 76, Pág. 817-828, Oct. 1957.
3. P.P. Gupta, M.W. Humphrey Davies, "DIGITAL COMPUTERS IN POWER SYSTEM ANALYSIS", Proceedings of the IEEE, vol 108A, Pág. 383-404, Jan. 1961.
4. H.E. Brown, G.K. Carter, H.H. Happ, C.E. Person, "POWER FLOW SOLUTION BY IMPEDANCE MATRIX ITERATIVE METHOD", IEEE Trans, vol PAS-82, Pág. 1-10, Apr. 1963.
5. J.E. Van Ness, "ITERATION METHODS FOR DIGITAL LOAD FLOW STUDIES", AIEE Trans. (PAS), vol 78, Pág. 583-588, Aug. 1959.
6. J.E. Van Ness, J.H. Griffin, "ELIMINATION METHODS FOR LOAD FLOW STUDIES", AIEE Trans. (PAS), vol 80, Pág. 299-304, June 1961.
7. W.F. Tinney, J.W. Walker, "DIRECT SOLUTIONS OF SPARSE NETWORK EQUATIONS BY OPTIMALLY ORDERED TRIANGULAR FACTORIZATION", Proc. IEEE, vol 55, Pág. 1801-1809, Nov. 1967.
8. C. Carrillo, P. Guerrero, J. Hidalgo, "FLUJO DE CARGAS: ESTUDIO POR MEDIO DE COMPUTADORES DIGITALES", Quito, 1974.
9. V. Quizanga, "DESARROLLO DE UN PROGRAMA PARA EL CALCULO DIGITAL DE FLUJO DE POTENCIA UTILIZANDO EL METODO DE NEWTON RAPHSON", Quito, 1975.
10. B. Stott, "REVIEW OF LOAD-FLOW CALCULARION METHODS", Proc. IEEE, vol 62, Pág. 916-929, July 1974.

11. B. Stott, M. Sc. Tech, E. Hobson, "SOLUTION OF LARGE POWER-SYSTEM NETWORKS BY ORDERED ELIMINATION: A COMPARISON OF ORDERING SCHEMES", Proc. IEEF, Vol. 118, N<sup>o</sup> 1, Jan. 1971.
12. N.M. Peterson, W. Scott Meyer, "AUTOMATIC ADJUSTMENT OF TRANSFORMER AND PHASE-SHIFTER TAPS IN THE NEWTON POWER FLOW", IEEE Trans. (PAS), vol PAS 90, N<sup>o</sup> 1, Jan/Feb. 1971.
13. G.W. Stagg, A.M. El-Abiad, "COMPUTER METHODS IN POWER SYSTEMS ANALYSIS" Editorial Mc Graw-Hill. 1968.
14. M.L. James, G.M. Smith, S.C. Wolford, "APPLIED NUMERICAL METHODS FOR DIGITAL COMPUTATION WITH FORTRAN AND CSMP", Second Edition, Ed. Foto-Offset.
15. Jensen, Randall, "NETWORK ANALYSIS THEORY AND COMPUTERS METHODS", 1974.